

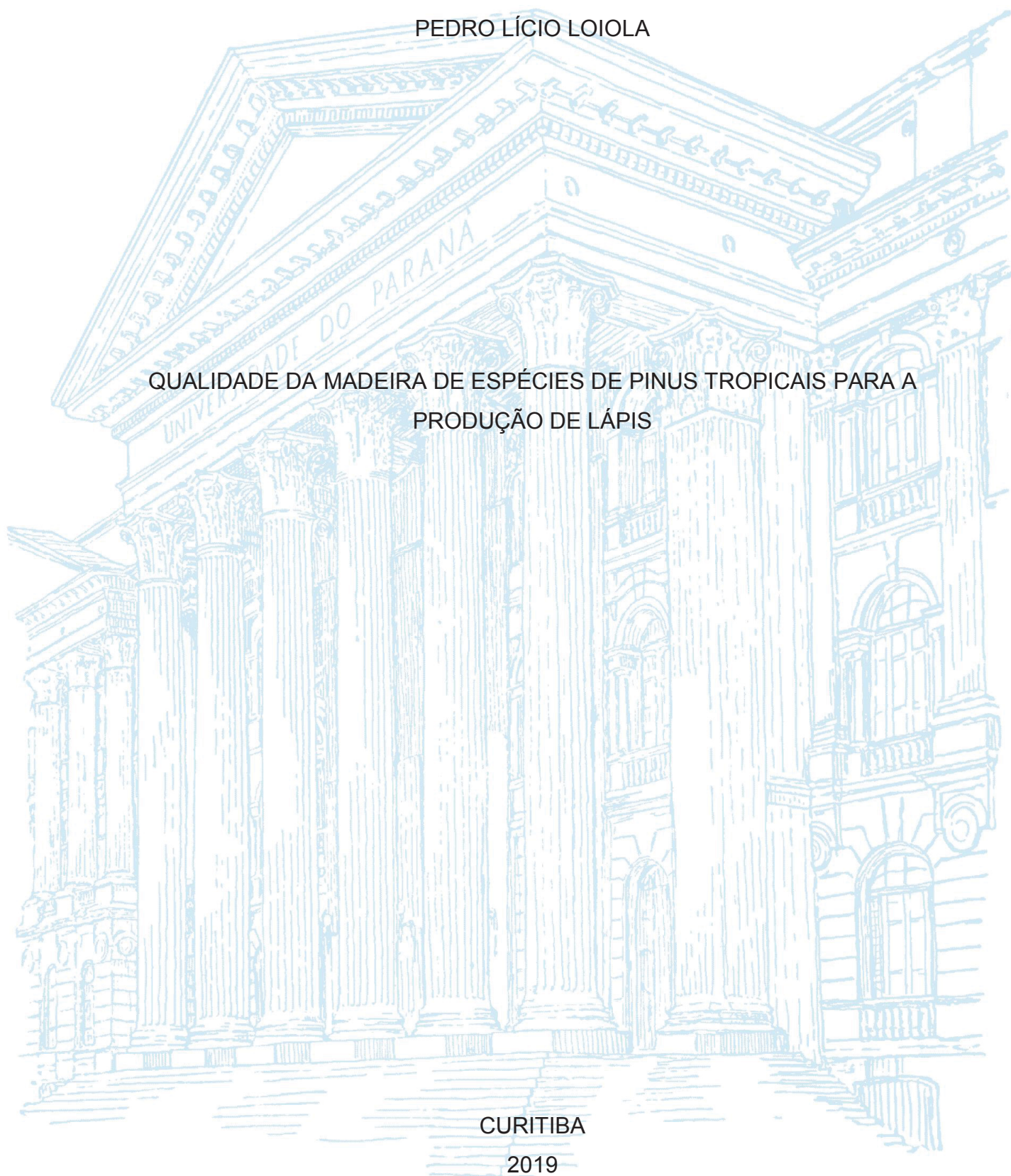
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PEDRO LÍCIO LOIOLA

QUALIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS PARA A
PRODUÇÃO DE LÁPIS

CURITIBA

2019



PEDRO LÍCIO LOIOLA

QUALIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS PARA A
PRODUÇÃO DE LÁPIS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke

Coorientadores: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha
Prof^a. Dra. Graziela Baptista Vidaurre

CURITIBA

2019

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Loiola, Pedro Lício

Qualidade da madeira de espécies de Pinus tropicais para a produção
de lápis / Pedro Lício Loiola. – Curitiba, 2019.
179 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke

Coorientadores: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha

Profa. Dra. Graziela Baptista Vidaurre

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Florestal. Defesa: Curitiba, 26/11/2019.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira - Secagem. 2. Madeira - Qualidade. 3. Pinheiro. 4. Madeira
- Produtos. 5. Teses. I. Klitzke, Ricardo Jorge. II. Rocha, Márcio Pereira
da. III. Vidaurre, Graziela Baptista. IV. Universidade Federal do Paraná,
Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.847

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **PEDRO LÍCIO LOIOLA** intitulada: **QUALIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE Pinus TROPICAIS PARA APRODUÇÃO DE LÁPIS**, sob orientação do Prof. Dr. RICARDO JORGE KLITZKE, que após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 26 de Setembro de 2019.



RICARDO JORGE KLITZKE
Presidente da Banca Examinadora



PEDRO HENRIQUE GONZALEZ DE CADEMARTORI
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



GRAZIELA BAPTISTA VIDAURRE DAMBROZ
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA)

JUAREZ BENIGNO PAES
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO)

ELIAS TAYLOR DURGANTÉ SEVERO
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico este trabalho a minha esposa Ligia dos Santos Oliveira Loiola, aos meus pais, Aylton da Silva Loiola e Izaura José Monteiro, aos meus irmãos Lucyana Monteiro Loiola e Matheus Monteiro Loyola (*in memoriam*) aos meus avós Luiz José Monteiro (*in memoriam*) e Maria França Pires Monteiro, pelo apoio, incentivo, carinho, amor e por ter acreditado no meu potencial e, mesmo em momentos difíceis, permitiram que eu continuasse a estudar.

AGRADECIMENTOS

A empresa A.W. Faber-Castell por ter contribuído com todo o desenvolvimento para a realização desta pesquisa, a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e a Universidade Federal do Uberlândia (UFU), por disponibilizarem laboratórios e equipamentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná pelo crescimento intelectual, pessoal e profissional.

Ao meu professor orientador Ricardo Jorge Klitzke, pela orientação, paciência, diálogos e a ciência transmitida que contribuíram para minha formação. Aos professores Dr. Márcio Pereira da Rocha e a Dra. Graziela Baptista Vidaurre pela coorientação para o desenvolvimento e execução do trabalho.

Aos meus pais Aylton da Silva Loiola e Izaura José Monteiro e aos meus irmãos Lucyana Monteiro Loiola e Matheus Monteiro Loyola (*in memoriam*) por acreditarem em mim e dado suporte aos meus estudos.

Aos meus avós Luiz José Monteiro (*in memoriam*) e Maria França Pires Monteiro, por todo o apoio e as sábias palavras professadas nos momentos mais oportunos. Aos meus tios Francisco José Monteiro Neto e Anderson José Monteiro pela educação, amizade, apoio e exemplo de vida.

A Ligia Oliveira, minha esposa, por sempre ter estado ao meu lado apoiando, incentivando e auxiliando.

Aos meus professores orientadores de graduação, Marcos Oliveira de Paula e Juarez Benigno Paes, pela amizade, orientação, incentivo, dedicação e por terem me iniciado nas pesquisas de Tecnologia da Madeira.

Aos amigos e companheiros da eterna república, Ana Paula Fernandes, Rafael Braz, Rafael Brown e Edberto Moura.

Aos amigos do curso Engenharia Industrial Madeireira e demais graduados, pelo agradável convívio em que tivemos juntos, em especial aos meus amigos Allan Euflosino, Franco Poletti, Hassan David e Lairó Feuchard.

Aos companheiros do Laboratório de Secagem de Madeiras da Universidade Federal do Paraná, que contribuíram para a realização deste trabalho, sem a ajuda de todos não seria possível este momento tão especial em vida: Cláudio Gumane, Raquel Marchesan, Douglas Carvalho, Victor Gonçalves, Emanuel Sakowicz e Belika Yuri Mori.

Aos amigos e colaboradores dos laboratórios da Universidade Federal do Paraná, Sr. Ademir Cavalli, Gisele Brochini e Mauro Távora.

A todos deixo meu singelo agradecimento.

Muito obrigado!

"Algumas vezes você nunca vai saber o valor de um momento, até que ele se torne uma memória".

Dr. Seuss

RESUMO

Este estudo visou fornecer subsídios técnicos sobre o comportamento da secagem de três espécies de pinus tropicais, sendo utilizada duas metodologias para a secagem em estufa convencional e três para a secagem em alta temperatura, sendo avaliada a taxa de secagem e a qualidade da madeira seca. Portanto, para a construção deste trabalho, foram desenvolvidos três capítulos que abordaram sobre: 1) *Propriedades físicas das madeiras de Pinus caribaea var. caribaea, Pinus caribaea var. hondurensis e Pinus oocarpa*; 2) *Secagem convencional da madeira de Pinus caribaea var. caribaea, Pinus caribaea var. hondurensis e Pinus oocarpa para produção de lápis* e 3) *Secagem em alta temperatura da madeira de Pinus caribaea var. caribaea, Pinus caribaea var. hondurensis e Pinus oocarpa para a produção de lápis*. O Capítulo 1, teve por objetivo investigar as propriedades físicas da madeira de três espécies de *Pinus* para a manufatura de lápis. Para tanto, foram avaliadas as propriedades físicas (massa específica básica, anidra e verde), assim como, as características de estabilidade dimensional da madeira. O Capítulo 2, teve por objetivo avaliar a qualidade da madeira seca pelo método de secagem em estufa convencional, sob seus aspectos qualitativos de ocorrência de empenamentos de três espécies de *Pinus* para a manufatura de lápis. Foram avaliados os parâmetros de taxa de secagem, tempo de secagem, contração da madeira e a qualidade da madeira seca. O Capítulo 3 teve por objetivo avaliar a qualidade da madeira seca pelo método de secagem em altas temperaturas, sob seus aspectos qualitativos de ocorrência de empenamentos duas espécies de *Pinus* para a manufatura de lápis. Foram avaliadas três temperaturas máximas de secagem (90; 135 e 165 °C), os parâmetros de taxa de secagem, tempo de secagem e a qualidade da madeira seca também foram mensurados. As espécies de pinus tropicais possuem baixas massas específicas, as quais, enquadram-se como madeiras leves. Para a secagem em estufa convencional as madeiras com 40 mm de espessura tiveram os melhores resultados para a incidência de empenamentos. Já na secagem em alta temperatura, independente da temperatura houve incidência de empenamentos na madeira.

Palavras-chave: Taxa de secagem. Câmara de secagem convencional. Secagem em alta temperatura. Temperatura de secagem. Qualidade da madeira.

ABSTRACT

This study aimed to provide technical subsidies for the drying behavior of three species of *Pinus*, focusing on two ones for drying in conventional kiln and three methodologies for drying at high temperatures. Thus, for the development of this work, three chapters were developed that focused on: 1) *Physical properties of Pinus caribaea var caribaea, Pinus caribaea var. hondurensis and Pinus oocarpa woods*; 2) *Conventional drying of Pinus caribaea var caribaea, Pinus caribaea var. hondurensis and Pinus oocarpa for pencil production* 3) *Drying at high temperatures of Pinus caribaea var caribaea, Pinus caribaea var. hondurensis and Pinus oocarpa for pencil production*. The purpose of Chapter 1 was to investigate the physical properties of wood from three *Pinus* species for the manufacture of pencils. For that, the physical properties (basic specific gravity, anhydrous and green), were evaluated, as well as the dimensional stability characteristics of the wood. The objective of Chapter 2 was to evaluate the quality of dry wood by the conventional kiln drying method, under its qualitative aspects of the occurrence of warping in three species of *Pinus* for the manufacture of pencils. The parameters of drying rate, drying time, wood retraction and dry wood quality were evaluated. The aim of Chapter 3 was to evaluate the quality of dry wood by the drying method at high temperatures, under its qualitative aspects of occurrence of warping in three *Pinus* species for the manufacture of pencils. Three maximum drying temperatures (90; 135 and 165°C) were evaluated. The parameters of drying rate, drying time and dry wood quality were also measured. The species of tropical *Pinus* have low specific mass, being classified as light woods. For conventional kiln drying the wood with 40 mm thickness had the best quality indexes. Drying at high temperatures, regardless of temperature, presented incidences of wood entanglement.

Keywords: Drying rate. Conventional drying. Drying at high temperatures. Drying temperature. Quality of wood.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 –	PROPRIEDADES FÍSICAS DAS MADEIRAS DE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> , <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> E <i>Pinus oocarpa</i>	
FIGURA 1.1 –	TORAS SEGREGADAS PARA A CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MADEIRA	55

**SECAGEM CONVENCIONAL DA MADEIRA DE *Pinus caribaea* var. *caribaea*,
CAPÍTULO 2 – *Pinus caribaea* var. *hondurensis* E *Pinus oocarpa* PARA PRODUÇÃO DE
LÁPIS**

FIGURA 2.2 –	RESSERRAGEM DOS BLOCOS DE 84mm DE ESPESSURA (A), DAS TÁBUAS DE 40 mm DE ESPESSURA (B) E DAS LAMELAS DE 5 mm DE ESPESSURA.	87
FIGURA 2.3 –	CÂMARA DE SECAGEM (A), TROCADOR DE CALOR (B), SISTEMA DE VENTILAÇÃO (C).	88
FIGURA 2.4 –	SOFTWARE GERENCIADOR DA CÂMARA DE PRÉ-SECAGEM (A) E MONITORAMENTO DA PRÉ-SECAGEM (B).	89
FIGURA 2.5 –	EMPILHAMENTO DA MADEIRA PARA A PRÉ-SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL.	89
FIGURA 2.6 –	CÂMARA DE SECAGEM (A), CALDEIRA ELÉTRICA (B), CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (C), DUMPER FRONTAL PARA ENTRADA DE AR (D), DUMPER PARA SAÍDA DE AR (E).	92
FIGURA 2.7 –	SUPERVISÃO DA SECAGEM.	92
FIGURA 2.8 –	ILUSTRAÇÃO DOS PINOS SENSORES NA MADEIRA	93
FIGURA 2.9 –	EMPILHAMENTO DAS LAMELAS DE 5 mm DE ESPESSURA (A) E EMPILHAMENTO DAS TÁBUAS DE 40 mm DE ESPESSURA (B).	94
FIGURA 2.10 –	ALIMENTAÇÃO DA MÁQUINA DE DESTOPO (A) E TRANSFORMAÇÃO DAS LAMELAS EM “TABUINHAS” (B).	96
FIGURA 2.11 -	CORPO DE PROVA PARA A SECAGEM DAS LAMELAS DE 5 mm DE ESPESSURA (A) E CORPO DE PROVA PARA A SECAGEM DAS TÁBUAS DE 40 mm DE ESPESSURA.	97
FIGURA 2.12 –	EMPENAMENTOS AVALIADOS DE ENCANOAMENTO (A), ENCURVAMENTO (B), TORCIMENTO COMPLEXO (C) E O GABARITO UTILIZADO PARA A MENSURAÇÃO, VISTA LATERAL (D), VISTA FRONTAL (E) E DETALHE DO VÃO (F).	99
FIGURA 2.13 -	VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE INICIAL DAS MADEIRAS DE PINUS TROPICAIS SUBMETIDA À SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL DE SECAGEM	104
FIGURA 2.14 -	VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE FINAL DAS LAMELAS DE 5 mm DE ESPESSURA SUBMETIDA À SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL DE SECAGEM	105
FIGURA 2.15 -	VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE FINAL DAS MADEIRAS DE 40 mm DE ESPESSURA SUBMETIDA À SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL DE SECAGEM	107

FIGURA 2.16 -	TEMPO DE SECAGEM PARA AS LAMELAS DE 5 mm DE ESPESSURA DAS MADEIRAS DE PINUS TROPICAIS SUBMETIDA À SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL	108
FIGURA 2.17 -	TEMPO DE SECAGEM PARA AS TÁBUAS DE 40 mm DE ESPESSURA DAS MADEIRAS DE PINUS TROPICAIS SUBMETIDA À SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL	109
FIGURA 2.18 -	TENDÊNCIA DA TAXA DE SECAGEM DAS LAMELAS DE 5 mm DE ESPESSURA PARA A MADEIRA RADIAL EM FUNÇÃO DA UMIDADE.	114
FIGURA 2.19 -	TENDÊNCIA DA TAXA DE SECAGEM DAS TÁBUAS DE 40 mm DE ESPESSURA PARA A MADEIRA RADIAL EM FUNÇÃO DA UMIDADE.	115
FIGURA 2.20 -	EMPENAMENTOS DAS LAMELAS DE 5 mm DE ESPESSURA DAS MADEIRAS DE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> , <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>Pinus oocarpa</i> SECAS EM ESTUFA CONVENCIONAL DE SECAGEM	122
FIGURA 2.21 –	AMOSTRA DE <i>PINUS CARIBAEA</i> VAR. <i>HONDURENSIS</i> EMPENADA (TORÇÃO) E COM PRESENÇA DE LENHO DE COMPRESSÃO.	123

SECAGEM EM ALTA TEMPERATURA DA MADEIRA DE *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* E *Pinus oocarpa* PARA A PRODUÇÃO DE LÁPIS

FIGURA 3.22 -	ESQUEMA ILUSTRATIVO DO SECADOR CONTÍNUO DE MADEIRA COM DETALHAMENTO DAS ESTEIRAS DE SECAGEM.	134
FIGURA 3.24 -	MONITORAMENTO E GERENCIAMENTO DA TEMPERATURA DAS CÂMARAS DE SECAGEM	135
FIGURA 3.25 -	TABUINHAS ALIMENTADAS NA ESTEIRA DO EQUIPAMENTO PARA A SECAGEM EM ALTA TEMPERATURA.	136
FIGURA 3.26 -	REGIÕES DO SECADOR CONTÍNUO DE MADEIRA.	136
FIGURA 3.27 -	EMPENAMENTOS AVALIADOS DE ENCANOAMENTO (A), ENCURVAMENTO (B), TORCIMENTO COMPLEXO (C) E O GABARITO UTILIZADO PARA A MENSURAÇÃO, VISTA LATERAL (D), VISTA FRONTAL (E) E DETALHE DO VÃO (F).	139
FIGURA 3.28 -	VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE INICIAL DAS MADEIRAS DE PINUS TROPICAIS SUBMETIDA À SECAGEM A ALTA TEMPERATURA.	142
FIGURA 3.29 -	HISTOGRAMA DO TEOR DE UMIDADE FINAL DA MADEIRA DE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> PARA A SECAGEM EM ALTA TEMPERATURA.	144
FIGURA 3.30 -	HISTOGRAMA DO TEOR DE UMIDADE FINAL DAS MADEIRAS DE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> PARA A SECAGEM EM ALTA TEMPERATURA	145
FIGURA 3.31 -	HISTOGRAMA DO TEOR DE UMIDADE FINAL DAS MADEIRAS DE <i>Pinus oocarpa</i> PARA A SECAGEM EM ALTA TEMPERATURA.	146
FIGURA 3.32 -	CAPABILIDADE DO PROCESSO DE SECAGEM A ALTA TEMPERATURA NO SECADOR CONTÍNUO DE ESTEIRA.	147
FIGURA 3.33 -	VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE FINAL DAS MADEIRAS DE <i>P. caribaea</i> var. <i>caribaea</i> , <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>P. oocarpa</i> SECAS A ALTA TEMPERATURA NO SECADOR CONTÍNUO DE ESTEIRA	151
FIGURA 3.34 -	EMPENAMENTOS NAS MADEIRAS DE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> , <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>Pinus oocarpa</i> SECAS EM SECADOR CONTÍNUO A TEMPERATURA DE 90 °C.	154
FIGURA 3.35 -	EMPENAMENTOS NAS MADEIRAS DE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> , <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>Pinus oocarpa</i> SECAS EM SECADOR CONTÍNUO A TEMPERATURA DE 135 °C.	155
FIGURA 3.36 -	EMPENAMENTOS NAS MADEIRAS DE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> , <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>Pinus oocarpa</i> SECAS EM SECADOR CONTÍNUO A TEMPERATURA DE 165 °C	157

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 –	PROPRIEDADES FÍSICAS DAS MADEIRAS DE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>, <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> E <i>Pinus oocarpa</i>	
TABELA 1.1 -	DIMENSÕES DOS BLOCOS PARA A CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MADEIRA DE <i>P. caribaea</i> var. <i>caribaea</i> , <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> E <i>P. oocarpa</i>	566
TABELA 1.2 -	VALORES REFERENTES A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, ANIDRA E VERDE DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE <i>P. caribaea</i> var. <i>caribaea</i> , <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>P. oocarpa</i>	59
TABELA 1.3 -	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DE <i>P. caribaea</i> var. <i>caribaea</i> EM FUNÇÃO DA CLASSE DIAMÉTRICA E POSIÇÃO NA TORA	61
TABELA 1.4 -	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DE <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO NA TORA	62
TABELA 1.5 -	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DE <i>P. oocarpa</i> EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO NA TORA	65
TABELA 1.6 –	CONTRAÇÃO DA MADEIRA DE <i>P. caribaea</i> var. <i>caribaea</i> , <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>P. oocarpa</i>	66
TABELA 1.7 -	CONTRAÇÃO DA MADEIRA DE <i>P. caribaea</i> var. <i>caribaea</i> EM FUNÇÃO DA CLASSE DIAMÉTRICA E NO SENTIDO MEDULA-CASCA	67
TABELA 1.8 -	CONTRAÇÃO DA MADEIRA DE <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> EM FUNÇÃO DA CLASSE DIAMÉTRICA E NO SENTIDO MEDULA-CASCA	70
TABELA 1.9 -	CONTRAÇÃO DA MADEIRA DE <i>P. oocarpa</i> EM FUNÇÃO DA CLASSE DIAMÉTRICA E NO SENTIDO MEDULA-CASCA	73

CAPÍTULO 2 - SECAGEM CONVENCIONAL DA MADEIRA DE *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* E *Pinus oocarpa* PARA PRODUÇÃO DE LÁPIS

TABELA 2.10 -	PROGRAMA PARA A PRÉ-SECAGEM	90
TABELA 2.11 -	TRATAMENTOS AVALIADOS PARA A SECAGEM DAS TÁBUAS E DAS LAMELAS EM CÂMARA CONVENCIONAL DE SECAGEM.	94
TABELA 2.12 -	PROGRAMA DE SECAGEM ELABORADO	95
TABELA 2.13-	FAIXA TEOR DE UMIDADE PARA O CÁLCULO DA TAXA DE SECAGEM	97
TABELA 2.14	TEOR DE UMIDADE FINAL PARA A PRÉ-SECAGEM DAS LAMELAS E TÁBUAS DE <i>P. caribaea</i> var. <i>caribaea</i> , <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> E <i>P. oocarpa</i>	100
TABELA 2.15 -	TEOR DE UMIDADE INICIAL, TEOR DE UMIDADE FINAL E TEMPO LÍQUIDO DE SECAGEM PARA AS LAMELAS E TÁBUAS DE <i>P. caribaea</i> var. <i>caribaea</i> , <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>P. oocarpa</i>	102
TABELA 2.16 -	TAXA SECAGEM DAS LAMELAS DE 5 MM DE ESPESSURA E DAS TÁBUAS DE 40 mm DE ESPESSURA EM FUNÇÃO DO TIPO DE REMOÇÃO DE ÁGUA	110
TABELA 2.17 -	MODELOS MATEMÁTICOS AJUSTADOS EM FUNÇÃO DA CINÉTICA DA SECAGEM.	117
TABELA 2.18 -	CONTRAÇÃO DA MADEIRA DE <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> , <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>Pinus oocarpa</i> EM LARGURA, ESPESSURA E VOLUMÉTRICO APÓS A SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL	119

SECAGEM EM ALTA TEMPERATURA DA MADEIRA DE *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* E *Pinus oocarpa* PARA A PRODUÇÃO DE LÁPIS

TABELA 3.19 –	CURVA DE SECAGEM PARA O MAPEAMENTO DO SECADOR CONTÍNUO	137
TABELA 3.20 –	CURVAS DE SECAGEM ELABORADAS PARA A SECAGEM EM ALTA TEMPERATURA	138
TABELA 3.21 -	FAIXA TEOR DE UMIDADE PARA O CÁLCULO DA TAXA DE SECAGEM	138
TABELA 3.22 -	TEOR DE UMIDADE INICIAL PARA A MADEIRAS DE <i>P. caribaea</i> var. <i>caribaea</i> , <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>P. oocarpa</i> PARA A SECAGEM EM ALTA TEMPERATURA	141
TABELA 3.23 –	VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE FINAL EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO DO SECADOR CONTÍNUO	143
TABELA 3.24 -.	TEOR DE UMIDADE FINAL, TAXA DE SECAGEM E TEMPO DE SECAGEM DAS MADEIRAS DE <i>P. caribaea</i> var. <i>caribaea</i> , <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> e <i>P. oocarpa</i> SECAS EM ALTA TEMPERATURA	149

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
1.1. OBJETIVOS	25
1.1.1 Objetivo Geral	25
1.2.1 Objetivos Específicos	25
2. REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 ESPÉCIES TRADICIONALMENTE UTILIZADAS NA FABRICAÇÃO DE LÁPIS	26
2.2 PANORAMA FLORESTAL BRASILEIRO	28
2.3 O GÊNERO <i>Pinus</i> UTILIZADO PARA A FABRICAÇÃO DE LÁPIS NO BRASIL	29
2.3.1 A madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> Morlet	30
2.3.2 A madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> Barr. & Golf.	31
2.3.3 A madeira de <i>Pinus oocarpa</i> Schiede	33
2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA	33
2.4.1 Teor de umidade	34
2.4.2 Massa específica aparente	34
2.4.3 Anisotropia da madeira	35
2.5 IMPORTÂNCIA DA SECAGEM DA MADEIRA PARA A MANUFATURA DE LÁPIS	37
2.6 MÉTODOS DE SECAGEM DA MADEIRA	37
2.6.1 Secagem convencional	37
2.6.2 Secagem a alta temperatura	39
REFERÊNCIAS	42

CAPÍTULO 1 – PROPRIEDADES FÍSICAS DAS MADEIRAS DE *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* E *Pinus oocarpa* para a produção de lápis

1. INTRODUÇÃO	53
1.1 OBJETIVOS	54
1.1.1 Objetivo Geral	54
1.1.2 Objetivos Específicos	54
2. MATERIAL E MÉTODOS	55
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL	55
2.1.1 Massa específica básica da madeira de pinus tropical	57
2.1.2 Contração da madeira de pinus tropical	57
2.2 ANÁLISE E ESTATÍSTICA DOS DADOS	57
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
3.1 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DAS ESPÉCIES	59
3.1.1 Massa específica básica por classe diamétrica e no sentido medula-casca de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	61
3.1.2 Massa específica básica por classe diamétrica e no sentido medula-casca de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	62
3.1.3 Massa específica básica por classe diamétrica e no sentido medula-casca de <i>Pinus oocarpa</i>	64
3.2 CONTRAÇÃO DAS ESPÉCIES	65
3.2.1 Contração da madeira por classe diamétrica e no sentido medula-casca de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	67
3.2.2 Contração da madeira por classe diamétrica e no sentido medula-casca de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	69
3.2.3 Contração da madeira por classe diamétrica e no sentido medula-casca de <i>Pinus oocarpa</i>	72
4. CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS	76

CAPÍTULO 2 – SECAGEM CONVENCIONAL DA MADEIRA DE *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* E *Pinus oocarpa* PARA PRODUÇÃO DE LÁPIS

1. INTRODUÇÃO	85
1.2 OBJETIVOS	86
1.2.1 Objetivo geral	86
1.2.2 Objetivos específicos	86
2. MATERIAL E MÉTODOS	87
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL	87
2.1.1 Produção das tábuas e lamelas	87
2.2 PRÉ-SECAGEM E IMPREGNAÇÃO DA MADEIRA	87
2.2.1 Pré-secagem em câmara convencional	87
2.2.2 Programa utilizado para a pré-secagem	90
2.3 SECAGEM COMPLETA DAS MADEIRAS DE PINUS TROPICAIS	91
2.3.1 Características do equipamento utilizado para a secagem completa	91
2.3.2 Tratamentos avaliados para a secagem da madeira	93
2.3.3 Empilhamento da madeira	94
2.3.4 Programa utilizado para a secagem das lamelas e das tábuas	95
2.4 AVALIAÇÃO DA SECAGEM DAS LAMELAS E TÁBUAS	96
2.4.1 Taxa de secagem e umidade final	96
2.4.2 Contração de secagem das lamelas e das tábuas	98
2.4.3 Rachaduras e empenamentos das lamelas e das tábuas	98
2.5 ANÁLISE E ESTATÍSTICA DOS DADOS	99
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	100
3.1 AVALIAÇÃO DA PRÉ-SECAGEM DAS LAMELAS E TÁBUAS	100
3.2 AVALIAÇÃO DA SECAGEM COMPLETA DAS LAMELAS E TÁBUAS EM CÂMARA CONVENCIONAL	102
3.2.1 Umidade inicial, umidade final e tempo de secagem das lamelas e das tábuas em câmara convencional de secagem	102
3.2.2 Taxa de secagem das lamelas e das tábuas em câmara convencional de secagem	110

3.2.3 Contração das lamelas e das tábuas após a secagem em câmara convencional	118
3.2.4 Avaliação dos empenamentos das lamelas e das tábuas após a secagem em câmara convencional	121
4. CONCLUSÕES	125
REFERÊNCIAS	126

CAPÍTULO 3 – SECAGEM EM ALTA TEMPERATURA DA MADEIRA DE
Pinus caribaea var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var.
hondurensis E *Pinus oocarpa* PARA A PRODUÇÃO DE
LÁPIS

1. INTRODUÇÃO	132
1.2 OBJETIVOS	133
1.2.1 Objetivo geral	133
1.2.2 Objetivos específicos	133
2. MATERIAL E MÉTODOS	134
2.1 EQUIPAMENTO UTILIZADO	134
2.1.1 Alimentação do secador contínuo para a secagem em alta temperatura	135
2.2 MAPEAMENTO DO SECADOR CONTÍNUO	136
2.2.1 Umidade inicial da madeira	137
2.3 SECAGEM DA MADEIRA EM ALTA TEMPERATURA	137
2.4 AVALIAÇÃO DA SECAGEM A ALTA TEMPERATURA	138
2.4.1 Taxa de secagem e umidade final	138
2.4.2 Rachaduras e empenamentos da madeira	139
2.3 ANÁLISE E ESTATÍSTICA DOS DADOS	140
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	141
3.1 MAPEAMENTO DO SECADOR CONTÍNUO DE MADEIRAS	141
3.2 SECAGEM DA MADEIRA EM ALTA TEMPERATURA	148
3.2.1 Avaliação do empenamento após a secagem a alta temperatura no secador contínuo de esteira	153
4. CONCLUSÕES	158
REFERÊNCIAS	159
REFERÊNCIAS GERAIS	163

1. INTRODUÇÃO

A madeira do gênero *Pinus* é oriunda de espécies arbóreas de grande porte, rápido crescimento e com propriedades desejáveis para a geração de produtos sólidos de madeira. As espécies desse gênero possuem tronco retilíneo, mais ou menos cilíndrico, e copa em forma de cone, com folhas em formato de acículas, agrupadas em fascículos. A introdução de espécies de pinus tropicais iniciou-se em meados dos anos 1960 com experimentos realizados com *Pinus caribaea* e *Pinus oocarpa*, possibilitando a expansão da cultura do gênero em todo o Brasil, usando-se a espécie adequada para cada região ecológica (LIMA et al., 1988; SHIMIZU; SEBBENN, 2008).

No âmbito nacional, os maciços florestais do gênero *Pinus* ocupam uma área de 1,6 milhão de hectares e concentram-se principalmente nos estados do Paraná (42%) e em Santa Catarina (34%). Nos últimos cinco anos, a área plantada com esse gênero vem decrescendo a uma taxa de 0,7% a.a., em função, principalmente, substituição pelo gênero *Eucalyptus* nos estados onde a cultura não é tradicional.

Nos estados da Região Sul do Brasil, que possuem melhores condições de solo e clima, a área com plantios de *Pinus* tem se mantido constante neste período (IBÁ, 2017). Quanto aos índices de produtividade dos maciços florestais brasileiros, as condições edáfo-climáticas, aliadas aos melhoramentos genéticos e os tratos silviculturais, proporcionaram o reconhecimento dos maciços florestais como sendo a indústria de base florestal mais produtiva em suas áreas plantadas.

A produção de produtos com maior valor agregado necessita de matéria-prima com teor de umidade adequado para que o produto atenda aos níveis de qualidade aceitáveis, tornando-se o processo de secagem de madeiras uma das etapas mais críticas e com elevados custos industriais.

Entretanto, para a correta remoção de umidade da madeira é imprescindível a compreensão dos fenômenos físicos envolvidos na secagem, dentre eles a transferência de calor, a qual tem por consequência, o fluxo de fluidos, com o movimento do centro para a superfície, pelos mecanismos de capilaridade e difusão e da superfície da madeira para o ar pela evaporação. A resistência para a evaporação da água depende do coeficiente convectivo de

massa e da difusão no interior da madeira, sendo a velocidade de remoção de umidade, denominada de taxa de secagem.

Com o intuito de elevar a competitividade do setor, a indústria de transformação tem dedicado estudos com o objetivo de otimizar o processo de secagem com métodos que proporcione redução no tempo de secagem sem provocar defeitos, que possam afetar o uso final da madeira e reduções no consumo de energia elétrica e térmica dispendidas pelo processo.

A secagem em câmara convencional é mais utilizada pela indústria, em função da sua versatilidade na sua operação e controle das variáveis envolvidas. No entanto, a técnica de secagem em alta temperatura proporciona reduções significativas nos tempos de secagem que são muito dependentes da espécie, equipamento utilizado, umidade inicial e final da madeira e temperatura máxima de secagem utilizada.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a potencialidade das madeiras de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* para a produção de lápis.

1.2.1 Objetivos Específicos

Avaliar a variação das propriedades físicas das madeiras por classe diamétrica e no sentido medula-casca;

Avaliar a secagem em câmara convencional das madeiras;

Analisar a secagem em alta temperatura das madeiras.

2. REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESPÉCIES TRADICIONALMENTE UTILIZADAS NA FABRICAÇÃO DE LÁPIS

No processo de industrialização e fabricação do lápis pode-se utilizar, na sua origem, matérias primas extrusadas ou produtos sólidos de madeira. Em se tratando da manufatura de produtos sólidos de origem florestal, as espécies devem possuir propriedades tecnológicas aceitáveis para atender à cadeia de beneficiamento, transformação e exigências daqueles que irão manipular o produto acabado.

Ao avaliar as propriedades tecnológicas, as características organolépticas da madeira devem ser levadas em consideração, como a cor, o cheiro, o gosto da madeira e a sua textura. Salienta-se que para a utilização de uma espécie florestal objetivando a fabricação do lápis, são de extrema importância as propriedades anatômicas, físicas e mecânica da madeira (DURLO; MARCHIORI, 1992).

As propriedades anatômicas a serem avaliadas para a fabricação do lápis são a proporção de lenho juvenil e lenho adulto, a qual está diretamente relacionada com as dimensões dos elementos celulares (traqueídeos para coníferas e fibras para folhosas), ângulo microfibrilar, quantidades proporcionais de lenho de reação, inclinação de grã, além das propriedades de colagem e adesão (ZOBEL; BUIJTENEN, 1989).

As propriedades físicas que a espécie florestal deve possuir para a manufatura do lápis são a massa específica básica e estabilidade dimensional e estas características resultam da interação entre as propriedades anatômicas e químicas da madeira (PANSIN; DE ZEEUW, 1980; KAYGIN et al., 2015). Ao avaliar a massa específica básica, esta deve apresentar valores que caracterize como madeiras leves, conforme classificação de Carvalho (1996), por estar diretamente relacionada às propriedades mecânicas (apontabilidade do lápis). A estabilidade dimensional também é de importante, podendo ser considerada a propriedade física mais relevante, afetando e limitando de forma considerável o emprego e utilização de espécies florestais produtoras de madeiras com fins de manufatura do lápis

Por fim, as propriedades mecânicas, que devem ser avaliadas, para a escolha da espécie florestal para a produção do lápis, são espécies que possuem baixa resistência para apontá-lo (trabalhabilidade e apontabilidade), entretanto, esta espécie deve possuir a característica de resistência ao cisalhamento, de forma que o produto manufaturado não seja frágil o suficiente, durante a sua utilização em serviço, a citar como exemplo, a quebra de ponta com uma inclinação de 60° (KAYGIN et al., 2015).

Diante dessas características citadas, cuja espécie deve possuir para que se torne apta ao processo de industrialização do lápis, pode-se citar, as espécies de cedro rosa (*Juniperus virginiana*) e gmelina (*Gmelina arborea*), as quais, espécies que se qualificam como referência para a indústria mundial de beneficiamento e fabricação do lápis. No Brasil, em função das condições edafoclimáticas, as espécies de pinus tropicais (*Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*), são amplamente utilizadas na indústria do lápis.

As madeiras das espécies de cedro (*Juniperus virginiana* e *Calocedrus decurrens*), também conhecida por “red cedar”, “incense-cedar”, “white” e “bastard” são espécies arbóreas originária do Oeste do continente norte americano. Suas propriedades físicas proporcionam usinagem de precisão que conferindo uma superfície usinada muito suave e excepcional 'nitidez' em lápis acabados. A espécie possui massa específica básica variando de 0,275 a 0,500 g.cm⁻³, em função do tipo de lenho avaliado, idade da árvore e localidade do plantio. Com relação à retratibilidade da madeira, a espécie compreende valores próximos a 7 e 4%, respectivamente para a contração tangencial e radial (PEREYRA et al., 2006; PINHEIRO et al., 2006; BRAZ et al., 2013).

A madeira de *Gmelina arborea*, também conhecida como “melina” e “yemane” é uma espécie arbórea pertencente à família Verbenaceae com ampla distribuição nos países como Bangladesh, Camboja, China, Índia, Laos, Mianmar, Nepal, Paquistão, Sri Lanka, Tailândia e Vietnã. É uma árvore que em seu habitat natural tem potencial de atingir até 35 metros de altura e 3 metros de diâmetro. A madeira de *Gmelina arborea* possui tonalidades claras com pouca diferença entre cerne e alburno, o seu cheiro é pouco perceptível, os anéis de crescimentos não apresentam diferenças visualmente entre lenhos primaveril e outonal.

Sua massa específica básica pode ser considerada baixa ou moderadamente baixa, compreendendo valores de 0,35 a 0,50 g.cm⁻³ e sua retratibilidade compreende valores de 5 a 8% para o sentido tangencial, 2 a 4% para o radial e a anisotropia de contração em torno de 2% (MOYA ROQUE, 2004; MOYA ROQUE; TOMAZELLO FILHO, 2007; 2008; MOYA ROQUE et al., 2007; 2008).

2.2 PANORAMA FLORESTAL BRASILEIRO

A cobertura florestal brasileira é constituída por florestas nativas, as quais correspondem 493,6 milhões hectares ou a 58% da área total do País. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2016), em 2015, existiam 485,6 milhões de hectares provenientes de florestas nativas e 7,84 milhões de hectares de plantios renováveis. E deste total de área com florestas nativas no Brasil apenas 13% se constitui como florestas direcionadas para a produção madeireira.

Dos 7,84 milhões de hectares de florestas plantadas, 72% (5,63 milhões de hectares) são com o gênero *Eucalyptus*, 20% (1,58 milhão de hectares) com o gênero *Pinus* e 8% (589 mil hectares) com outras espécies (seringueira, acácia negra, paricá e teca), conforme os dados setoriais fornecidos por IBÁ (2017).

Os maiores investimentos em produtividade, geração de emprego e renda estão concentrados, principalmente, na indústria produtora e consumidora de florestas plantadas. Tal atividade representa 91% da produção de toda a madeira produzida para fins industriais no País, e os povoamentos de *Eucalyptus* e *Pinus* totalizam 92% das áreas destinadas a florestas plantadas (ABIMCI, 2016).

Entretanto, nos últimos anos as áreas ocupadas com o gênero *Pinus* vêm reduzindo a uma taxa de 2,1% a.a., em decorrência da substituição das áreas de corte final por culturas de rápido crescimento como o *Eucalyptus* e espécies destinadas à produção de produtos de maior valor agregado – PMVA (IBÁ, 2017). No entanto, ao analisar o setor como um todo, os parques florestais de florestas plantadas vêm crescendo a uma taxa de 3,3% a.a.

A importância do setor florestal está relacionada a sua participação na economia brasileira com a manufatura de produtos, tanto para o mercado interno

quanto à exportação, gerando renda e empregos (diretos e indiretos) e ainda, atuando na conservação e preservação dos recursos naturais, haja vista que no ano de 2016 o setor foi responsável por 6% de todo o PIB (Produto Interno Bruto) industrial (IBÁ, 2017). Do total arrecadado, \$ 2,44 bilhões referem-se à tributação de receita e lucro, quanto a aquisição de insumos e equipamentos foram gerados R\$ 1,7 bilhão em tributos pagos e \$ 78,94 milhões foram provenientes dos salários dos colaboradores do setor.

A indústria A.W. Faber-Castell foi certificada por de estudos realizados pela TÜV Rheinland® em 2012 por estar contribuindo em estabelecer o equilíbrio climático em todas as unidades de produção do mundo. Com as florestas da empresa no Brasil, localizadas no município de Prata/MG, aproximadamente 10.000ha, a A.W. Faber-Castell se tornou um dos poucos empreendimentos do setor florestal a possuir status de empresa neutra em emissão de carbono.

2.3 O GÊNERO *Pinus* UTILIZADO PARA A FABRICAÇÃO DE LÁPIS NO BRASIL

As espécies de *Pinus* introduzidas no Brasil são provenientes, principalmente, dos Estados Unidos, embora inicialmente fossem oriundas da Europa. Naturalmente, elas são originárias da América do Norte, da América Central, do norte da Europa e da Ásia (LIMA et al., 1988). Diversas espécies de coníferas foram introduzidas no sul do Brasil por iniciativa, tanto de empresas florestais na procura de novas fontes de matéria-prima para celulose e papel, como pelo extinto Instituto Nacional do Pinho, depois chamado Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF (SHIMIZU; HIGA, 1981).

A avaliação do comportamento dessas espécies por Golfari (1971), quanto à forma, incremento e produção, aliada ao estudo das analogias climáticas, resultou na primeira aproximação para a escolha das coníferas aptas para reflorestamento na Região Sul do Brasil.

Golfari (1971) ainda relatou que entre as espécies com alto potencial para reflorestamento na Região Sul, o *Pinus taeda* destaca-se pelo seu elevado incremento volumétrico nas regiões mais frias do planalto sulino, além de apresentar um menor teor de resina em sua madeira em comparação ao *Pinus*

elliottii, constituindo-se em uma das espécies mais plantadas na região pelos programas de plantios incentivados pelo governo federal.

Concomitantemente, a partir da década de 1960, iniciaram-se experimentações com espécies tropicais, entre elas *Pinus caribaea* e *Pinus oocarpa*, possibilitando a expansão da cultura de pinus em todo o Brasil, usando a espécie adequada para cada região ecológica (SHIMIZU; SEBBENN, 2008). Alguns anos depois da implantação dos pinus subtropical (*Pinus taeda* e *Pinus elliottii*), que se adaptaram ao clima da Região Sul do país, foram introduzidos os pinus tropicais nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Bahia e Espírito Santo.

Pesquisas têm sido direcionadas para avaliar o potencial de algumas espécies de *Pinus* tropicais em termos silviculturais e de qualidade da madeira, visando promover plantios em escala comercial para fins de produção industrial (IWAKIRI et al., 2009). Prata (2010); Trianoski et al. (2013a; b) e Trianoski et al. (2014) ao avaliarem madeiras de diferentes espécies de pinus tropicais observaram algumas propriedades superiores às espécies de clima subtropical, como massa específica e distância entre nós.

Com a introdução de diversas espécies de pinus tropicais, viabilizou-se nova fonte de matéria-prima para a produção de madeira para usos múltiplos em todo o Brasil. Sendo um importante suprimento de madeira para a indústria de celulose e papel, lâminas, chapas de madeira, madeira serrada para fins estruturais, fabricação de embalagens, móveis, assim como, para a manufatura de lápis.

2.3.1 A madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* Morlet

A espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea* é uma conífera tropical, com distribuição na região ao oeste de Cuba, na Ilha da Juventud e na província de Pinar del Río. Porém, sua distribuição também pode ocorrer desde a Nicarágua até as Ilhas Bahamas em altitudes variando de 0 a 280 m (FRANCIS, 1992; WANG et al., 1999; ZHENG; ENNOS, 1999).

O crescimento da espécie ocorre de maneira natural em baixas altitudes, produzindo madeira com elevado teor de resina. Possui tolerância a solos com pouca fertilidade, pH de 7,5 a 8,5 e topografia moderada (FRANCIS, 1992;

WANG et al., 1999; ZHENG; ENNOS, 1999), no entanto, apresenta melhor índice de crescimento em zonas livres de geada e com altitude de até 700 m, solos férteis com boa drenagem e precipitação anual de 1.000 a 3.000 mm (HERAS et al., 2006).

Dentre as espécies do gênero pinus, o *Pinus caribaea* var. *caribaea* é a que, tem menor incremento anual, porém é a que se mostra mais adequada para o processamento mecânico, por apresentar fuste reto e galhos finos e curtos (PIMENTEL, 2000). Segundo Shimizu (2008), a forma do fuste é exemplar, além de apresentar frequência baixa ou nula de "fox-tail".

O melhoramento genético de *Pinus caribaea* var. *caribaea* foi iniciado em meados da década de 1960, cumprindo um intenso e variado programa de atividades de pesquisa e desenvolvimento, orientado para estudos de desenvolvimento na fase experimental da seleção de árvores "plus" e estudos de progênie, juntamente com o estabelecimento de bancos clonais e pomares de sementes (MERCADET et al., 2001). No Brasil, estandes experimentais de variedades de *P. caribaea* são encontrados principalmente nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Bahia e norte do Paraná (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA – SBS, 2007).

Quanto à aplicabilidade da espécie e seus usos, a variedade *P. caribaea* pode ser usada para madeira serrada e produção de papel (FRANCIS, 1992), construções rurais e de navios, produtos laminados, móveis e celulose (CHUDNOFF, 1984), painéis de partículas (IWAKIRI et al., 2010) e produção de tanino a partir da casca (ALMEIDA, 2006).

Em relação às características tecnológicas da madeira, esta variedade é de fácil trabalhabilidade, no entanto, a presença de resina em quantidades elevadas promove a necessidade constante de manutenção e limpeza dos equipamentos e das ferramentas de corte. O conteúdo de resina na variedade indica a durabilidade e resistência da madeira ao ataque de insetos, sendo o cerne moderadamente durável e resistente (CHUDNOFF, 1984).

2.3.2 A madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. & Golf.

O *Pinus caribaea* var. *hondurensis* é uma espécie que abrange três variedades naturais: *P. caribaea*, *P. bahamensis* e *P. hondurensis*, esta última é

uma das espécies de pinus tropicais mais cultivadas no mundo. Considerando que sua distribuição natural na América Central abrange grande amplitude de condições ambientais nas suas origens, as procedências consideradas mais importantes são as litorâneas e a das montanhas, por estarem ao longo do tempo, habituadas com furacões e tempestades tropicais, conferindo à madeira dessa espécie, resistência aos ventos fortes e à quebra do fuste (MOURA; DVORAK, 2001; PRATA, 2010).

De fato, sua distribuição natural ocorre mais especificamente nos países de Belize, Guatemala, Honduras, Nicarágua e México, assim como, existe a incidência de distribuição natural em El Salvador, conforme relatos de Klock (1990) e Freitas et al. (2005).

Segundo Moraes et al. (2007), as variedades da espécie *Pinus caribaea* em geral, são as principais variedades de pinheiro tropical cultivada nas zonas quentes do Brasil, com uma área de mais de 700 mil hectares, indo desde a Amazônia até a Região Sudeste do País (FREITAS et al, 2005). Este sucesso comercial ocorre principalmente pela disponibilidade de sementes no mercado, ao seu bom desenvolvimento em solos pobres e à elevada qualidade de sua madeira amplamente utilizada na construção civil e em fábricas de celulose.

As árvores desta espécie apresentam um rápido e vigoroso desenvolvimento inicial e em decorrência disso, apresenta madeira juvenil nos 5 a 8 anos iniciais em relação às outras variedades de pinus. Esta madeira é caracterizada por ser constituída de anéis largos e traqueídeos com menor comprimento. A madeira de lenho juvenil pode ter massa específica até 2/3 menor do que a madeira adulta e metade de sua resistência. (FERREIRA; TOMAZELLO FILHO, 2009). Os mesmos autores afirmam que a madeira oriunda da espécie de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* é de fácil trabalhabilidade e seus teores de resina (breu e terebintina) podem causar problemas no seu corte, porém quando, extraída apresenta alta qualidade.

Um dos grandes problemas existentes em povoamentos florestais de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus caribaea* var. *bahamensis* no Brasil é a frequente deformação do formato da copa causado pelo rápido crescimento (“fox tail”).

2.3.3 A madeira de *Pinus oocarpa* Schiede

Pinus oocarpa é uma espécie de pinus nativa do México e América Central, com ampla distribuição em países como Belize, Guatemala e Honduras (EMBRAPA, 1986; MOURA; DVORAK; NOGUEIRA, 1998; SAMPAIO et al., 2002).

A espécie foi introduzida no território nacional por meio de incentivos aos programas de reflorestamento na década de 1970, especialmente na Região do Cerrado brasileiro (MOURA et al. 1998). Durante o período de incentivo aos programas de reflorestamentos, largas áreas de plantações de *Pinus oocarpa* foram estabelecidas (MOURA et al., 1998, MORAES et al., 2005). Kageyama et al. (1977) complementam a introdução desta espécie em território brasileiro, relatando plantações nos estados de São Paulo e Minas Gerais, no entanto, as sementes utilizadas para implantação dessas florestas foram, na maioria, de origem desconhecida (SERPE; WATZLAWICK, 2009).

No início dos anos 80, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) realizava ensaios de progênie de *Pinus oocarpa* em várias regiões do Brasil, com sementes oriundas da América Central e Cooperativa de Recursos Coníferos do México (CAMCORE), Universidade Estadual da Carolina do Norte (Dvorak; Donahue, 1992). O objetivo daqueles ensaios foi testar e conservar várias proveniências nativas da Guatemala e Honduras, que não haviam sido amostrados antes e iniciar um programa de melhoramento da espécie, usando o material genético que era melhor adaptado às condições climáticas e edáficas (MOURA; et al., 1998).

Sua madeira é utilizada em laminação, particulados (aglomerado, painel de partículas orientadas (OSB), painel de partículas retangulares de comprimento e espessura controlados, painéis resinados, celulose de fibras longas e produtos sólidos de madeira, dos quais tem-se a manufatura de lápis no Brasil (SAMPALIO et al., 2002; MORAES NETO; MELO, 2008).

2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

As propriedades físicas da madeira fornecem informações relevantes quanto a finalidade de espécies florestais produtoras de madeira e o seu melhor

emprego nos diversos segmentos da cadeia produtiva de base florestal (OLIVEIRA, 2007). Szücs et al. (2006) ainda complementam que ao empregar a madeira como material para produção de produtos sólidos, além das propriedades físicas (umidade, massa específica e anisotropia) as propriedades ignífugas, durabilidade natural e as suas propriedades químicas devem ser levadas em consideração.

No entanto, para a utilização da madeira como matéria-prima na manufatura de lápis, as características de massa específica, anisotropia, inclinação de grã, assim como, as propriedades químicas são os fatores mais relevantes.

2.4.1 Teor de umidade

O teor de umidade da madeira é facilmente compreendido quando se tem conhecimento da fisiologia do vegetal, dentre os aspectos da absorção de água e sais minerais do solo pelas raízes até as folhas (seiva bruta) e das folhas até as raízes (seiva elaborada) composta por água e substâncias produzidas pela fotossíntese. Oliveira et al. (2005) e Klitzke (2007) relatam que a umidade da madeira na árvore pode variar de 31 a 213% no cerne e de 40 a 249% no alburno, dependendo da espécie florestal e do local de crescimento.

A característica anatômica exerce influência significativa no teor de umidade máximo da madeira. Espécies que possuem paredes celulares espessas, consequentemente, lumes celulares delgados resultam em menos espaços nas cavidades celulares e menores são os seus teores de umidades. Os componentes químicos da madeira (holocelulose, lignina e extrativos) também afetam o teor de umidade, principalmente os extrativos, por estarem ligados à parede celular e, em muitos casos, compostos apolares, assim como a lignina, que é o componente químico mais hidrofóbico quando comparado à holocelulose (STAMM, 1964).

2.4.2 Massa específica aparente

A massa específica aparente é uma das propriedades físicas que mais fornece informações sobre as características da madeira (TREVISAN et al.,

2008; LOPES et al., 2011). Para Panshin e De Zeeuw (1980), ela resulta da interação entre suas propriedades químicas e anatômicas, varia em função de diferenças nas dimensões celulares, interações entre esses fatores e pelo teor de extrativos, por unidade de volume no lenho. Além disso, a presença de substâncias minerais como cristais de oxalato de cálcio e sílica, em algumas espécies, favorecem o aumento da massa específica da madeira.

Existe uma amplitude imensa quanto aos valores de massa específica entre as madeiras, variando de valores próximos a $0,20 \text{ g.cm}^{-3}$ até $1,40 \text{ g.cm}^{-3}$. Tal variação ocorre em função das diversas influências externas e internas que configuram a organização e dimensões das células do lenho (KOLLMANN e CÔTÉ JUNIOR (1968); KLITZKE, 2007). A principal causa desta variação de massa específica está relacionada com a característica da espécie, teor de umidade da madeira, presença de lenho inicial ou tardio, largura dos anéis de crescimento, sítio de crescimento da árvore e tratamentos silviculturais (TRIANOSKI et al., 2013).

As características de anisotropia, trabalhabilidade, impregnabilidade, durabilidade natural e as propriedades mecânicas estão correlacionadas com a massa específica da madeira, servindo na prática, como uma referência para a classificação da madeira (GONÇALVES et al., 2009).

2.4.3 Anisotropia da madeira

A madeira, por ser um material anisotrópico tem alterações em suas dimensões, caracterizando a adsorção ou a desorção da água de impregnação localizada nas paredes celulares. A alteração dimensional da madeira ocorre entre o ponto de saturação das fibras – PSF até 0% de umidade (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Esta particularidade é considerada uma das propriedades físicas mais importantes, afetando e limitando o emprego e utilização de espécies de madeiras, influenciando, diretamente na estabilidade dimensional da madeira. Kollmann; Côte Junior (1968) e Skaar (1988) relataram que o aumento do volume é proporcional à variação de umidade (0% até PSF), como também, diretamente relacionada à massa específica da madeira. No entanto, espécies que

tenham grandes quantidades de resinas, de extrativos e de lignina são menos suscetíveis a estas alterações volumétricas.

O fenômeno de adsorção (inchamento) ocorre principalmente pelo ganho de moléculas de água nos espaços submicroscópicos entre as micelas, que são feixes formados por moléculas de celulose e nas regiões amorfas de celulose e hemiceluloses, afastando-as e ocorrendo assim, a alteração volumétrica da madeira. Desta mesma forma, o fenômeno de desorção (contração) é caracterizado pela perda de água dos espaços submicroscópicos mencionados, resultando na aproximação das micelas e das moléculas que as constituem, consequentemente ocorrendo alteração volumétrica da madeira (SKAAR, 1988; GOMES et al., 2006).

Stamm (1964) afirmou que existe correlação entre a variação volumétrica da madeira com a sua massa específica básica. No entanto, Gomes et al. (2006) citaram que esta correlação pode ser inadequada para espécies que apresentam quantidades elevadas de extrativos, os quais ficam impregnados nos espaços da parede celular, reduzindo as alterações dimensionais da madeira. Outra forma de alterar esta relação são as variações ocorridas nas fibrilas e na espessura relativa das várias camadas que compõem a parede celular. A massa específica é a característica mais utilizada para prever a contração volumétrica e as características de secagem das madeiras.

Por causa de seu caráter anisotrópico, as variações dimensionais na madeira ocorrem distintamente no sentido radial, tangencial e axial. A variação axial, às vezes, é menor que 1%. Desta forma é importante a determinação da retratibilidade volumétrica total e das variações dimensionais lineares. A movimentação no sentido transversal requer maior atenção, pois ela se diferencia conforme o sentido tangencial ou radial, com as maiores movimentações no sentido tangencial (KOLLMANN; CÔTE JUNIOR, 1968; TRIANOSKI et al., 2013).

Segundo Skaar (1988) e Marques et al. (2012), a relação entre os valores das contrações máximas no sentido tangencial e radial determina o coeficiente de anisotropia de contração (A_c) o que possibilita prever o comportamento da madeira em relação à secagem, indicando uma maior ou menor propensão de defeitos de empenamentos e rachaduras que podem ser ocasionados pela secagem. A determinação do coeficiente de contração de anisotropia ocorre em

função da mensuração das medidas lineares nos diferentes planos anatômicos da madeira, com teor de umidade acima do PSF até uma condição de secagem completamente anidra (0%) (GOMES et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2010).

2.5 IMPORTÂNCIA DA SECAGEM DA MADEIRA PARA A MANUFATURA DE LÁPIS

A utilização da madeira para a manufatura de lápis com melhor padrão de qualidade requer uma matéria-prima que esteja com um teor de umidade abaixo de 8%, em função dos níveis de qualidade aceitáveis pelo mercado consumidor. Kollmann e Côte Junior (1968); Madsen (1992); Losgdon e Calil (2002) e Beltrame et. al. (2010) ainda enfatizam que as características de usinagem e as propriedades mecânicas da madeira são diretamente afetadas pelo teor de umidade em que a mesma se encontra.

Além dos benefícios ocasionados pela secagem, quanto às propriedades mecânicas da madeira, ela tem como consequência também, melhor estabilidade dimensional da madeira (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985; GOMES et al., 2006), a qual reduz a movimentação dimensional, minimizando os defeitos de lápis tortos, após sua produção. Outro benefício da secagem para a manufatura do lápis é a propriedade de colagem e adesão (madeira-madeira e madeira-grafite), em razão desta característica implicar na qualidade da abrasividade entre os componentes. Quanto à aplicação de acabamentos (selantes, tintas e vernizes), esses devem ser utilizados com a madeira em seu estado seco, proporcionando melhores qualidades de fixação, abrasividade, dureza, brilho e aderência (KLITZKE, 2007).

2.6 MÉTODOS DE SECAGEM DA MADEIRA

2.6.1 Secagem convencional

A secagem convencional é o método de secagem de madeiras que possibilita maior flexibilidade de controle das variáveis envolvidas no processo como a temperatura, velocidade de circulação do ar, umidade relativa e potencial de secagem. A amplitude de temperatura operada por este tipo de estufa está

em função do tipo de madeira a ser seca, qualidade da madeira seca, compreendendo valores de 40 a 100 °C (HILDEBRAND, 1970; MARTINS, 1988; SIMPSON, 1991; JANKOWSKY, 1995). Em função das perdas de calor e deficiências na sua transferência ocasionada pelo processo, Santini (1996); Jankowsky et al. (2003); Almeida (2011) e Loiola (2015) enfatizam a limitação da temperatura máxima compreendendo entre 90 °C.

Segundo Jankowsky (1995) e Santini (1996), o funcionamento da estufa considera a circulação do ar promovida por um conjunto de ventiladores reversíveis que impulsionam esse ar, o qual após se aquecer ao passar pelos trocadores de calor, é direcionado para atravessar as pilhas de madeira, transferindo calor para a madeira e a umidade de superfície das peças, para o ambiente.

Em estufas convencionais o ar circula a uma velocidade de 2 a 5 m.s⁻¹, e o número de ventiladores deve ser suficiente para possibilitar sua distribuição uniforme. Embora o vapor produzido por caldeiras seja a fonte de calor mais comum nas estufas convencionais, sistemas de aquecimento elétricos e trocadores de calor com água quente e óleo também podem ser utilizados (HILDEBRAND, 1970; KLITZKE, 2002).

No processo de secagem convencional em estufas, a manipulação do ambiente de secagem é importante para que o efeito do fluxo de fluídos ocorra na madeira com maior eficiência e qualidade. As alterações das condições ambientais são realizadas em função da temperatura, umidade relativa e velocidade de circulação do ar.

A temperatura exerce influência na velocidade de secagem, tendo em vista que quanto maior a temperatura, maior será a taxa de evaporação de umidade da madeira (SEVERO, 1989; KLITZKE, 2007). O aumento da temperatura deve ocorrer de forma gradual, pois é um método de controle para minimizar a incidência de defeitos na madeira. A movimentação de fluidos durante a secagem da madeira ocorre pelo gradiente de umidade do interior para a superfície da peça (KOLLMANN; CÔTE JUNIOR, 1968; KLITZKE, 2002). Portanto, em programas de secagem a elevação da temperatura deve ocorrer de forma gradual, proporcionando sempre a taxa de evaporação da umidade.

A umidade relativa pode ser manipulada pelo sistema de umidificação do ar, a qual é obtida pela liberação de vapor em baixa pressão ou por válvulas

de aspersão de água fria ou quente no interior da estufa e, por um sistema de renovação do ar, os quais são denominados de “*dumpers*” (PRATT, 1974).

Outra forma de manipular a umidade relativa é realizando modificações na temperatura interna da estufa, com a injeção ou não de vapor saturado. Ao elevar a temperatura do sistema, ocorre também a redução da umidade relativa, assim, aumenta a capacidade do ar em absorver moléculas de vapor d'água (KLITZKE, 2002). Em câmara convencional de secagem é necessário que o ar secante seja sempre renovado, havendo trocas de ar úmido por ar fresco com abertura dos “*dumpers*” (HILDEBRAND, 1970).

O fluxo de ar no processo de secagem de madeira tem por finalidade realizar a transferência de calor para a superfície da madeira e da massa de vapor de água da superfície para o ar secante (HILDEBRAND, 1970; MACKAY; OLIVEIRA, 1989; KLITZKE, 2002). O custo do sistema de circulação de ar está diretamente relacionado ao consumo de energia elétrica que é demandado para realizar o funcionamento dos motores (KLITZKE, 2002) por isto foi amplamente estudado (TOMASELLI, 1977; SALAMON; MCLNTYRE 1969; WENGERT; DENIG, 1995; KLITZKE, 2002), visando a otimização da velocidade de circulação do ar em função dos fenômenos físicos de difusão e capilaridade no processo de secagem.

Atualmente com a utilização dos inversores de frequência (KLITZKE, 2002; RESCH, 2006) tornaram-se possíveis alterações das velocidades de circulação de ar pelas pilhas, reduzindo o consumo de energia elétrica, e consequentemente, os custos industriais.

2.6.2 Secagem a alta temperatura

Secagem a alta temperatura da madeira é definida como um método no qual o ambiente de secagem se encontra com temperatura igual ou superior a 100 °C (PONCSAK et al., 2006; OBATAYA et al., 2006). Para equipamentos que utilizam termômetro de bulbo seco e de bulbo úmido, consiste basicamente em duas condições de controle da curva de secagem. A primeira é manter a temperatura do termômetro do bulbo úmido inferior a 100 °C e o do bulbo seco com temperatura igual ou superior a 100 °C.

Para este processo, a condução da secagem é realizada com ausência de ar, sendo utilizado apenas vapor superaquecido. Já o segundo método, é necessário utilizar circulação forçada de ar (ar-vapor), em que o termômetro do bulbo úmido se encontra a temperaturas inferiores ao ponto de ebulição da água (menor que 100 °C) e o termômetro do bulbo seco é mantido a temperatura de 100 °C ou superior (TOMASELLI, 1977; CAI; OLIVEIRA, 2010).

Para equipamentos em que se utiliza apenas como controle do ambiente de secagem a temperatura do bulbo seco (secadores contínuos de lâmina) a secagem da madeira em alta temperatura é realizada com o termômetro do bulbo seco excedendo a 100 °C, portanto a umidade relativa do ambiente de secagem pode não ser controlada (MILOTA, 2000).

A movimentação de fluidos do interior da madeira para a superfície na secagem em alta temperatura ocorre em três estágios, conforme descrito por Hann (1964) e Tomaselli (1977). Na fase inicial, tida como primeira fase da secagem, a taxa de evaporação da umidade ocorre de forma linear e ainda, segundo Mellado (2007), é proporcional à diferença de temperatura do ar secante com a temperatura da superfície da madeira.

Tomaselli (1977), Siau e Avramidis (1996) e Mellado (2007) complementam que durante este estágio a secagem ocorre na superfície da madeira, quando esta se encontra bem acima do ponto de saturação das fibras, ocorrendo fluxo capilar e expansão de bolhas de ar. A taxa de secagem depende exclusivamente da eficiência de transferência de calor do meio para a superfície da madeira, formando um gradiente de umidade.

Esta fase da secagem é finalizada quando o fluxo de água livre para a superfície da madeira é interrompido pelas as primeiras camadas superficiais atingirem o ponto de saturação das fibras, em consequência, a temperatura na superfície da madeira ultrapassa a 100 °C. Na segunda fase da secagem, o mecanismo predominante é o fluxo de massa de vapor e este estágio tem seu término quando a temperatura na região central da madeira ultrapassa 100 °C, consequentemente, não há mais movimentação de água líquida. A terceira fase da secagem tem início quando a última porção de fluido é evaporada e prolonga-se até a madeira atingir a umidade de equilíbrio do ambiente. Esta fase decorre com a taxa de secagem de forma decrescente (TOMASELLI, 1977).

Hann (1964) e Hildebrand (1970), no entanto, descrevem que a temperatura limitada a 100 °C não é estritamente correta para a cinética da secagem em métodos que utilizam temperaturas elevadas. Hildebrand (1970) ainda complementa que pressões superiores à pressão atmosférica ocorrem no interior da madeira alterando a temperatura de evaporação da água, sendo uma característica do processo de secagem em alta temperatura. Tal fenômeno está associado ao gradiente de pressão, tornando-se responsável pela formação e expansão de bolhas de ar e do fluxo de massa de vapor.

O principal argumento ao se adotar o método de secagem em alta temperatura é a redução do tempo de secagem e como consequência, o consumo de energia elétrica, conforme estudos relatados por Sik et al. (2009); (2010) e Vilkovská et al. (2016). Esta redução de energia é atribuída principalmente pela melhor eficiência na transferência de calor para a madeira (BARANSKI et al., 2013; BARANSKI, 2018). Estes números são muito dependentes da espécie, equipamento, umidade inicial e temperatura utilizada, mas indicam que uma parte importante do custo da secagem pode ser reduzido (PONCSAK et al., 2006; FRÜHWALD, 2007).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, B. C. **Contribuição para melhoria do processo de secagem convencional de madeiras serradas na região norte do Estado do Mato Grosso**. 2011. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

ALMEIDA, V. C. **Extração de taninos da casca de *Pinus caribaea* var. *caribaea* através da utilização de diferentes solventes**. 29 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo setorial 2016**: ano base 2015. Curitiba, 2016. 143 p.

BARANSKI, J.; CHUCHALA, D.; DZURENDA, L.; MUZINSKI, T.; ORLOWSKI, K. Determination of moisture content profiles of spruce wood after high temperature process and air drying. **Forestry and Wood Technology**, v. 82, p. 49-56, 2013.

BARANSKI, J. Moisture content during and after high and normal-temperature drying processes of wood. **Drying Technology**, v. 36, p. 751–761, 2018.

BELTRAME, R.; GATTO, D. A.; MODES, K.; STANGERLIN, D. M.; TREVISAN, R.; HASELEIN, C. Resistência ao impacto da madeira de açoita-cavalo em diferentes condições de umidade. **Cerne**, v. 16, p. 499-504, 2010.

BRAZ, R.L.; OLIVEIRA, J. T. S. RODRIGUES, B. P.; ARANTES, M. D. C. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Toona ciliata* em diferentes idades. **Floresta**, v. 43, p. 663-670, 2013.

CAI, L.; OLIVEIRA, L. C. Impact of high-temperature schedules on drying of spruce and pine. **Drying Technology**, v. 26, p. 1160–1164, 2008.

CALVERT, W. W. High-temperature kiln-drying of lumber - A summary of Canadian progress. **Forest Product Journal**, v.8, n.7, p. 200-204, 1958.

CHUDNOFF, M. Tropical timbers of the world. **Agriculture Handbook**, Washington: USDA. 1984. 466 p.

FERREIRA, A. T. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. por densitometria de raios x. **Scientia Florestalis**. v.37, n.83, p. 287-298, 2009.

FRANCIS, J.K. ***Pinus caribaea* Morelet. caribbean pine**. New Orleans: Departament of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1992. 10 p.

FREITAS, M. L., M.; ZANATTO, A. C. S.; MORAIS, E.; LEMOS, S. V. FERNANDES, A. C.; SEBBENN, A. M.; Teste de procedência de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 32 anos de idade em Bebedouro-SP. **Revista Instituto Florestal**, v.17. n.1 p.17-23, 2005.

FRÜHWALD, E. Effect of high-temperature drying on properties of Norway spruce and larch. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 65, n. 6, p.411 - 418, 2007.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

GOLFARI, L. **Coníferas aptas para o reflorestamento nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**, Brasília: IBDF, 1971, 71p. (Boletim Técnico, 1).

GOMES, D. F. F.; SILVA, J. R. M.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F. Avaliação da estabilidade dimensional da madeira acetilada de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Scientia Forestalis**, n. 70, p.125 - 130, 2006.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; DELLA LUCIA, R. M.; NAPPO, M. E.; SARTÓRIO, R. C. Densidade e variação dimensional de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.33, n.2, p.277-288, 2009.

HANN, R. A. Drying yellow-poplar at temperatures above 100°C. **Forest Products Journal**, v. 14, p. 215-220, 1964.

HERAS, J.; BONILLA, M.; MARTÍNEZ, L. W. Germination after heats treatments of *Pinus tropicalis* Morelet and *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* seeds of west Cuban forest. **Annales Forest Science**, n. 63, p. 469-475, 2006.

HILDEBRAND, R. **Kiln drying of sawn timber**. Germany: Maschinenbau GmbH, 1970. 199p.

INDUSTRIAL BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Anuários estatístico da IBÁ 2017**: Ano base 2016. Brasília, 2016. 80 p.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; LIMA, A. J. M.; FERREIRA, E. S.; BATISTA, D. C.; ROMÃO, S. A. A. Produção de painéis compensados de *Pinus* tropicais colados com resina fenol-formaldeído. **Floresta**, v. 39, n. 3, p. 669-673, 2009.

IWAKIRI, S.; MANHIÇA, A.A.; PARCHEN, C.F.A.; CIT, E.J.; TRIANOSKI, R. Use of wood from *Pinus caariabea* var. *caribaea* and *Pinus caribaea* var. *bahamensis* for production of particleboard panels. **Cerne**, v. 16, n. 2, p. 193-198, 2010.

JANKOWSKY, I. P.; SANTOS, G. R. V.; ANDRADE, A. Secagem da madeira serrada de eucalipto. **IPEF**, v. 199, p. 1-14, 2003.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCovsky, R.; FERREIRA, M.; NICOLIELO, N. Variação Genética entre Procedências de *Pinus oocarpa* Shiede na região de Agudos – SP. **IPEF**, p.77-120,1977.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Orgs.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007, v. 1, p. 271-366.

KLITZKE, R. J. **Uso do inversor de frequência na secagem de madeiras**. 2002. 239f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

KLOCK, U. Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiède e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr e Golf. **Floresta**, v. 20, n.1- 2, p. 89-90, 1990.

KOLLMANN, F. E. P.; CÔTE JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**: solid wood. Berlin: Springer-Verlag, v.1. 1968. 592p.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**. Eschborn: GTZ, 1990. 343 p.

LIMA, A. F.; JARÁ, E. R. P.; ALFONSO, V. A. Madeira como matéria-prima para fabricação de pasta celulósica. In: PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. p.129-167.

LOGSDON, N. B.; CALIL JUNIOR, C. Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 18, p. 77-108, 2002.

LOIOLA, P. L. **Secagem da madeira de teca (*Tectona grandis* L. f) sob diferentes condições**. 2015. 224f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2015.

LOPES, C. S. D.; NOLASCO, A. M.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S.; PANSINI, A. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 315 - 322, 2011.

MACKAY, J. F. G.; OLIVEIRA, L. C. **Kiln operator's handbook for Western Canada**. Vancouver: Forintek Canada Corp., 1989. 61p.

MADSEN, B. **Structural behaviour of timber**. North Vancouver: Timber Engineering Ltda, v.1. 1992. 437p.

MARQUES, S. S.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; ALVES, EDENISE, S.; SILVA, A. G.; FIEDLER, N. C. Estudo comparativo da massa específica aparente e retratibilidade da madeira de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* LAM.) nativa e de reflorestamento. **Árvore**, v. 36, p. 373-380, 2012.

MARTINS, V.A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: IBDF, 1988. 56p.

MELLADO, E. C. E. R. **Modelo de transferência de calor e massa na secagem de madeira serrada de Pinus**. 2007. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

MERCADET, A.; MARQUETTI, J. R.; ÁLVAREZ, A.; PÉREZ, M.; ECHEVARRÍA, P.; HIDALGO, E.; ORTIZ, O.; RODRÍGUEZ, E.; ROMEO, P.; ÁVILA, B.; PARADA, D.; YERO, L.; SOTOLON, P.; MARTÍNEZ E.; MARESMA, H.; GONZÁLEZ, A.; HECHAVARRÍA, O.; HERNÁNDEZ, A.; PAREDES, L. Introducción de especies y procedencias en Cuba: resultados de la investigación y proyecciones. 29., 2001. Roma. In... Roma: Recursos Genéticos Forestales Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2001. pp. 15-18.

MILOTA, M. R. Warp and shrinkage of hem-fir stud lumber dried at conventional and high temperatures. **Forest Products Journal**, v. 50, n.11/12, p. 79-84, 2000.

MORAES NETO, S. P.; MELO, J. T. **Parâmetros genéticos da densidade básica da madeira de *Pinus oocarpa***. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008, 19p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento)

MORAES, M. L. T.; MISSIO, R. F.; SILVA, A. M.; CAMBUIM, J.; SANTOS, L. A.; RESENDE, M. D. V. Efeito de desbaste seletivo nas estimativas de parâmetros genéticos em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, n. 74, p.55-65, 2007.

MORAIS, S. NASCIMENTO, E. F.; MELO, D. C. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, v.29, n.3, p.461 470, 2005.

MOURA, V. P. G.; DVORAK, W. S. HODGE, G. R. Provenance and family variation of *Pinus oocarpa* grown in the Brazilian cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 109, p. 315-322, 1998.

MOURA, V. P. G.; DVORAK, W. S. Provenance and family variation of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from Guatemala and Honduras, grown in Brazil, Colombia and Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 225-234, 2001.

MOYA ROQUE, R. Wood of *Gmelina arborea* in Costa Rica. **New Forests**, Amsterdam, v.28, n.2/3, p.299- 307, 2004.

MOYA ROQUE, R.; ARAYA, L.; VILCHEZ, B. Variation in the pith parameter of *Gmelina arborea* trees from fast growth plantations in Costa Rica. **Annals of Forest Science**, v.65, n.6, p.612-621, 2008.

MOYA ROQUE, R.; TOMAZELLO FILHO, M. Variation in the wood anatomical structure of *Gmelina arborea* trees at different ecological conditions in Costa Rica. **Revista Biologia Tropical**, v.56, n.2, p.689- 704, 2008.

MOYA ROQUE, R.; TOMAZELLO FILHO, M. Wood density and fiber dimensions of *Gmelina arborea* in fast growth trees in Costa Rica: relation to the growth rate. **Sistemas y Recursos Forestales**, v.16, n.3, p.267 276, 2007.

MOYA ROQUE, R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C.T.S. Variações na estrutura da anatomia do lenho de árvores de *Gmelina arborea* Roxb. (Verbenaceae) de clima tropical seco e úmido na Costa Rica. **Scientia Forestalis**, n.75, p.65-75, 2007.

OBATAYA, E.; SHIBUTANI, S.; HANATA, K.; DOI, S. Effects of high temperature kiln drying on the practical performance of Japanese cedar wood (*Cryptomeria japonica*). II: Changes in mechanical properties due to heating. **Journal Wood Science**, v.52, p.111–114, 2006.

OLIVEIRA, J. T. S. Propriedades físicas e mecânicas da madeira. . In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Orgs.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007, v. 1, p. 271-366.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p.115 - 127, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Árvore**, v.34, n.5, p.929-936. 2010.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 4 ed. New York: MacGraw-Hill, 1980. 722 p.

PEREYRA, O.; SUIREZS, T. M.; PITSCH, C.; BAÉZ, R. Estudio de las propiedades físico-mecánicas y comportamiento em procesos industriales de la madera de kiri, gravillea, paraíso y toona. **Floresta**, v. 36, n. 2, p. 213 - 223, 2006.

PIMENTEL, L.L. **Telhas onduladas à base de cimento portland e resíduos de *Pinus caribaea***. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

PINHEIRO, A. L.; LANI, J. L.; COUTO, L. **Cedro-Australiano**: cultivo e utilização (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (F. Muell) Bahadur. Viçosa: UFV, 2006. 42p.

PONCSAK, S.; KOCAEFE, D.; BOUAZARA, M.; PICHETTE, A. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). **Wood Science Technology**, v.40, p. 647-663, 2006.

PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de Pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panels – EGP)**. 2010. 114f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PRATT, G. H. **Timber drying manual**. London: Department of the Environment/Building Research Establishment, 1974. 152p.

RESCH, H. High-frequency electric current for drying of wood-historical perspectives. **Wood Science and Technology**, v. 8, n. 2, p. 67-82, 2006.

SALAMON, M.; MCLNTYRE, S. Manipulation of air velocity permits drying time savings. **Canadian Forest Industries**, v, 89, n .9, p. 49-57, 1969.

SAMPAIO, P. T. B.; RESENDE, M. D V.; ARAUJO, A. J. Estimativa de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus oocarpa* Schiede. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 3,7 n.5, 2002.

SERPE, E. L.; WATZLAWICK, L. F. Avaliação de incremento diamétrico inicial em diferentes espécies de Pinus na região de Santa Maria do Oeste (PR). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.2, n.3, 2009.

SEVERO, E. T. D. **Efeito da temperatura e da velocidade do ar na secagem de madeira serrada de Pinus Elliottii**. 1989. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

SHIMIZU, J. Y.; HIGA, A. R. Variação racial do *Pinus taeda* L. no sul do Brasil até o sexto ano de idade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 2, p.1-25, 1981.

SHIMIZU, J.Y.; SEBBENN, A.M. Espécies de Pinus na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J.Y. (Ed.). **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 49 - 74.

SIAU, J. F.; AVRAMIDIS, S. The surface emission coefficient of wood. **Wood and Fiber Science**, adison, v.28, n.2, p.178-185, 1996.

SIK, H. S.; CHOO, K. T.; SARANI, Z.; SAHRIM, A.; HOW, S. S.; CHIA, C. H.; YUSOFF, M. Dimensional stability of high temperature-dried rubberwood solid lumber at two equilibrium moisture content conditions. **Drying Technology**, v. 28, p. 1083–1090, 2010.

SIK, H. S.; CHOO, K. T.; SARANI, Z.; SAHRIM, A.; HOW, S. S.; MOHAMAD OMAR, M. K. Influence of drying temperature on the physical and mechanical properties of rubberwood. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 21, n. 3, p.181–189, 2009.

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator's manual**. Madison: U.S. Department of Agriculture, 1991. 274 p.

SKAAR, C. **Wood-water relations**. New York: Spring-Verlag. 1988. 283p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil Florestal – 2007**. 2008. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br>>. Acesso em: 29 ago. 2019.

STAMM, J. A. **Wood and cellulose science**. New York, The Ronald Press, 1964. 549p.

SZÜCS, C. A.; TEREZO, R. F.; VALLE, Â.; MORAES, P. D. **Estruturas de madeira**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. 186p.

TOMASELLI, I. **Effect of high temperature drying on properties of *Pinus radiata***. 1977. 264f. Tese (Doctor in Wood Science), University of Melbourne, Melbourne. 1977.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C. R.; MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; BELTRAME, R.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L. Variação radial da massa específica básica da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Floresta**, v. 38, n. 3, p.553-559, 2008.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Avaliação das propriedades mecânicas da madeira de espécies de *Pinus* tropicais. **Scientia Forestalis**, v. 42, p. 21-28, 2014.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Avaliação da estabilidade dimensional de espécies de *Pinus* tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 398-406, 2013a.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de espécies de *Pinus* tropicais. **Floresta**, v. 43, p. 503-510, 2013b.

WANG, H.; MALCOLM, D.C.; FLETCHER, A.M. *Pinus caribaea* in China: introduction, genetic resources and future prospects. **Forest Ecology and Management**, v.117, p.1-15, 1999.

WENGERT, E. M.; DENIG, J. Lumber drying: today and tomorrow. **Forest Products Journal**, v. 45, n. 5, p. 22 – 30, 1995.

ZHENG, Y.Q.; ENNOS, R.A. Genetic variability and structure of natural and domesticated populations of *Caribbean* pine (*Pinus caribaea* Morelet). **Theoretical and Applied Genetics**, n. 98, p.765-771, 1999.

ZOBEL, B.J.; BUIJTENEN, J.P. **Wood variation**: Its causes and control. New York. Springer-Verlag, 1989. 357p.

CAPÍTULO 1 – PROPRIEDADES FÍSICAS DAS MADEIRAS DE *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* E *Pinus oocarpa* para a produção de lápis

RESUMO

O comportamento da propriedade física da madeira é importância para a sua utilização no setor industrial. Assim, a manufatura para a produção de lápis requer matéria-prima de baixa densidade e com elevada estabilidade dimensional. Este estudo teve por objetivo avaliar as propriedades físicas de massa específica básica, anidra e verde assim como, a retratibilidade das madeiras de *Pinus caribaea* var. *caribaea* de 14 anos, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 25 anos e *Pinus oocarpa* de 35 anos, nos sentidos medula-casca em três classes de diâmetro. Todas as espécies são provenientes de povoamentos florestais localizados na Região do Cerrado Brasileiro. A madeira de *P. oocarpa* teve a maior massa específica básica, enquanto *P. caribaea* var. *caribaea* exibiu o menor valor. Quanto a estabilidade dimensional, o *P. caribaea* var. *caribaea* e *P. oocarpa* tiveram comportamentos semelhantes para a contração volumétrica. Para o coeficiente de anisotropia da madeira, a espécie de *P. caribaea* var. *caribaea* teve maiores valores, no entanto, todos os pinus tropicais estudados, enquadram-se como matéria-prima para a indústria de lápis, sendo uma alternativa as espécies tradicionalmente utilizadas.

Palavras-chave: Qualidade da madeira. Massa específica. Estabilidade dimensional. Pinus tropical. Lápis de madeira.

ABSTRACT

The understanding of the behavior of the physical property of wood is of paramount importance for its use in the industrial sector. For example the manufacture for pencil production requires lightweight, soft raw material with high dimensional stability. The objective of this study was to evaluate the properties of the physical specific basic mass properties, anhydrous and green, as well as the retractability of the 14 years old *Pinus caribaea* var. *caribaea*, 25 years old *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and 35 years old *Pinus oocarpa* in the marrow sense of the bark, base and top of the trees. All species come from the Brazilian Cerrado region afforestation. As for dimensional stability, the *Pinus caribaea* var. *caribaea* and *Pinus oocarpa* had similar behaviors to the volumetric contraction, when evaluating the coefficient of anisotropy of wood species of *Pinus caribaea* var. *caribaea* had higher values of anisotropy coefficient, however, all tropical pine studied, qualify as a raw material for the pencil industry, being an alternative species traditionally used.

Keywords: Quality of wood. Specific gravity. Dimensional stability. Tropical pine. Wood pencil.

1. INTRODUÇÃO

Entre os diversos gêneros de espécies de madeira e de interesse econômico em nível mundial, encontra-se o gênero *Pinus*, sendo utilizado como matéria-prima para a indústria de base florestal. Em função do rápido crescimento dos povoamentos homogêneos florestais, destinados à manufatura de produtos sólidos de madeira a utilização de árvores cada vez mais jovens, é cada vez mais frequente, o que pode comprometer sua formação e constituição como, sua estrutura anatômica, composição química e propriedades físicas (VIDAURRE et al., 2013; BRAZ et al., 2014).

As propriedades da madeira podem variar em função da região de plantio (qualidade de sítio), da idade, taxa de crescimento e presença de madeira juvenil. As propriedades físicas da madeira de várias espécies se alteram conforme o raio de crescimento da árvore, sendo que a porção de madeira correspondente aos primeiros anéis de crescimento, possui como características, paredes celulares mais finas, traqueídeos mais curtos, caracterizando diferenças entre lenhos juvenil e adulto, conforme relatos de Latorraca e Albuquerque (2000) e Juízo et al. (2015).

O entendimento do comportamento das variações dimensionais da madeira é de suma importância para a sua utilização no setor industrial. As relações existentes entre as propriedades físicas (retratibilidade) e a relação água-madeira são relevantes para um aproveitamento mais eficiente da matéria-prima (PAES et al., 2013; LOIOLA et al., 2019), assim como, o nível de qualidade aceitável para o produto manufaturado. A exemplo a manufatura de lápis, cujos problemas de instabilidade dimensional da madeira, promovem em retrabalhos no produto que já possui valor agregado em toda a cadeia produtiva. A ocorrência de empenamentos (encanoamento e encurvamento) da madeira está relacionada à variação dimensional e tem como algumas causas as diferenças de contração entre os sentidos tangencial, radial e axial da madeira (anisotropia), assim como a presença de lenho juvenil (PAES et al., 2015). Vidaurre et al. (2011) e Vidaurre et al. (2013) ainda complementam que o lenho de compressão, que é comum em madeiras de pinus, é caracterizado pelo maior teor de lignina e menor teor de celulose, o que pode influir na higroscopicidade da madeira.

Neste contexto, as propriedades físicas vêm sendo estudadas por Trianoski et al. (2013), Juízo et al. (2015) e Paes et al. (2015) por serem de fácil determinação e um dos principais critérios de avaliação da qualidade da madeira, podendo ser relacionada ao comportamento do produto final para a indústria de manufatura de lápis.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar a influência das propriedades físicas das madeiras de pinus tropicais na produção de lamelas para a fabricação de lápis.

1.1.2 Objetivos Específicos

Avaliar a relação da massa específica da madeira de pinus tropical por classe diamétrica e no sentido medula-casca e sua influência na qualidade das lamelas para a produção de lápis;

Analisar a estabilidade dimensional da madeira de pinus tropical por classe diamétrica e no sentido medula-casca e sua influência na qualidade das lamelas para a produção de lápis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

Foram estudadas duas espécies de *Pinus caribaea* (*P. caribaea* var. *caribaea* e *P. caribaea* var. *hondurensis*) e uma espécie de *Pinus oocarpa*.

O *P. caribaea* var. *caribaea* com 14 anos é proveniente de um maciço florestal pertencente à empresa Duratex S.A., localizada no município de Nova Ponte-MG (19.1466° S, 47.6784° W). Já o *P. caribaea* var. *hondurensis* com 25 anos procede de um maciço florestal pertencente à empresa A.W. Faber-Castell S.A., localizada no município de Prata-MG (19.3100° S, 48.9277° W). Enquanto o *P. oocarpa* com 35 anos é proveniente de um maciço florestal pertencente à empresa Vale do Rio Grande Reflorestamento Ltda, localizada no município de Catalão-GO (18.1661° S, 47.9445° W).

As árvores foram colhidas e cortadas no comprimento de 2,40m e segregadas em três classes diamétricas, sendo classe 1 (14,0 a 18,0 cm), classe 2 (18,1 a 25,0 cm) e classe 3 (25,1 a 38,0 cm), no pátio de toras da empresa A.W. Faber-Castell. Já a espécie de *P. oocarpa*, as toras também foram cortadas no comprimento de 2,40m e segregadas no pátio da empresa Vale do Rio Grande Reflorestamento, localizada no município de Catalão-GO.

FIGURA 1.1 – TORAS SEGREGADAS PARA A CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MADEIRA



A: Árvores selecionadas; B: Segregação e identificação das toras por classe de diâmetro; C: Desdobro das toras; D: Retirada dos corpos de provas.

FONTE: O autor (2019)

O desdobro das toras de *P. caribaea* var. *caribaea* e *P. caribaea* var. *hondurensis* foi realizado na serraria da A.W. Faber-Castell, onde o desdobro

principal ocorreu em uma serra circular geminada de dois eixos, formando-se semi-blocos e posteriormente blocos, também em uma serra circular geminada de dois eixos.

Já o desdobro das toras de *P. oocarpa* foi realizado na serraria pertencente à Vale do Rio Grande Reflorestamento, onde o desdobro principal ocorreu em serra de fita geminada, formando o semi-blocos e posteriormente, blocos em uma serra circular geminada de dois eixos.

Para cada classe de diâmetro, a empresa utiliza diagramas de cortes específicos, produzindo blocos de diferentes dimensões em sua largura e espessura. Com o intuito de padronizar para cada classe de diâmetro foram utilizadas sempre as mesmas dimensões dos blocos produzidos para a caracterização física da madeira (Tabela 1.1).

TABELA 1.1 – DIMENSÕES DOS BLOCOS PARA A CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MADEIRA DE *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *hondurensis* E *P. oocarpa*

Classe diamétrica	Dimensões do bloco		Caracterização física da madeira
	Largura (mm)	Espessura (mm)	
Classe 1	120	84	Próxima à casca Próxima à medula
Classe 2	165	84	Próxima à casca Próxima à medula
Classe 3	198	84	Próxima à casca Próxima à medula

Dos blocos utilizados para a caracterização física da madeira foram identificados a região próximo à casca e próximo à medula. Estes foram seccionados ao meio em sua espessura (paralelo aos anéis de crescimento) e obteve-se desta forma, duas regiões predominantes de amostras (próxima à medula e próxima à casca).

2.1.1 Massa específica básica da madeira de pinus tropical

Os ensaios para a determinação da massa específica básica das madeiras das espécies foram realizados conforme norma COPANT – 461 (1972). Para tanto, foram utilizadas 50 repetições, tendo as amostras dimensões de 25 x 25 x 100 mm (radial x tangencial x longitudinal). Para a determinação da massa seca, as amostras foram dispostas em estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 103 ± 2 °C. Para maior controle da secagem a perda de massa dos corpos de prova foi monitorada até massa constante.

2.1.2 Contração da madeira de pinus tropical

As deformações específicas da contração das espécies foram consideradas como índice de estabilidade dimensional determinadas para cada um dos planos de orientação em função de suas dimensões, observadas quando a madeira se encontrava no estado saturado e para a condição seca (0% de umidade).

Para a contração da madeira seguiram-se as especificações da norma COPANT – 462 (1972). Determinaram-se a contração volumétrica, as contrações lineares totais, ou seja, a contração no sentido radial e tangencial. Ao final foi determinado o coeficiente de anisotropia de contração total da madeira.

2.2 ANÁLISE E ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para a análise e avaliação dos resultados dos ensaios de estabilidade dimensional das madeiras de pinus tropicais, foi empregado um delineamento inteiramente casualizado. Para a análise e avaliação dos resultados foram utilizados planilha eletrônica e programas estatísticos.

Para os fatores e interação detectados como significativos pelo teste F ($p \leq 0,05$), foi empregado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), sendo primeiramente realizado testes de normalidade dos dados e o teste de homogeneidade das variâncias de Bartlett entre os tratamentos (RIBEIRO JUNIOR, 2001).

Quando da necessidade para homogeneizar as variâncias, os dados foram transformados em $\arcsen[\sqrt{\text{perda de massa}/100}]$, como recomendado por Steel e Torrie (1988).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DAS ESPÉCIES

Observa-se (TABELA 1.2), os resultados médios obtidos para a massa específica básica, em que a madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* apresentou os menores valores entre as espécies avaliadas ($0,344 \text{ g.cm}^{-3}$). Tais resultados podem estar relacionados com a menor idade da árvore. A massa específica é uma das propriedades de interesse na fabricação de lápis, pois proporciona o conforto para sua apontabilidade (redução do torque ao apontar), além de facilitar as etapas do processo produtivo de usinagem, colagem e acabamento (pintura superficial e impressão). As diferenças entre as massas específicas foram de 13,56% em comparação com a madeira de *P. caribaea* var. *hondurensis* e 25,70% ao comparar com a madeira de *P. oocarpa*.

TABELA 1.2 - VALORES REFERENTES À MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, ANIDRA E VERDE DA MADEIRA DAS ESPÉCIES DE *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *hondurensis* E *P. oocarpa*

Espécie	Massa específica [g.cm^{-3}]		
	básica	anidra	verde
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	0,344 a (12,60%)	0,375 a (13,66%)	0,891 a (15,70%)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,398 b (12,83%)	0,446 b (0,08; 19,29%)	0,922 b (12,32%)
<i>Pinus oocarpa</i>	0,463 c (13,60%)	0,514 c (13,80%)	0,935 b (18,53%)
Fator de significância	575,48*	432,56*	11,72*

Valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula (vertical) não diferem estatisticamente entre si (Tukey, $p > 0,05$).

Em relação à classificação da massa específica básica das espécies estudadas, estas podem ser classificadas como madeiras leves, segundo classificação proposta por Melo et al. (1990), que estabelecem este critério para valor de até $0,500 \text{ g.cm}^{-3}$. Já na classificação proposta por Carvalho (1996), as madeiras de *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* podem ser classificadas como muito leves e a de *Pinus oocarpa* como leve. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis -

IBAMA (2018), também estipula uma classificação de madeiras, em que madeiras com valores inferiores a $0,500 \text{ g.cm}^{-3}$, são classificadas como leves.

Para a manufatura de lápis de madeira a massa específica básica, deve apresentar valores que a caracterizem como madeiras leves, por de apresentar baixa resistência ao apontar o lápis. Entretanto, o produto manufaturado não pode ser frágil, durante a sua utilização em serviço, para que não ocorra rompimentos dos traqueídeos, ocasionado a quebra de ponta a uma inclinação de 60° . Outra característica importante para a indústria do lápis é a capacidade de flexão da madeira, pois aquelas com elevada resistência a flexão, o grafite (mina) pode ser facilmente quebrado pela força da escrita (KAYGIN et al., 2015).

Existe uma amplitude grande para a massa específica das espécies, a qual podem varia de $0,300$ até $0,700 \text{ g.cm}^{-3}$, conforme relatos de Amaral et al. (1977), Barnes et al. (1977), Mendes et al. (2002), Sansígolo e Barreiros (2004), Moraes Neto e Melo (2008), Corrêa (2009) e Amorim et al. (2013). Tal variação ocorre em função das diversas influências externas e internas que configuram a organização e dimensões das células do lenho (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968; PANSIN; DE ZEEUW, 1980; KLITZKE, 2007).

A principal causa desta variação está relacionada à característica da espécie, teor de umidade da madeira, presença de lenho inicial ou tardio, largura dos anéis de crescimento, sítio de crescimento da árvore e tratos silviculturais (TRIANOSKI et al., 2013).

Ao comparar com espécies tradicionalmente utilizadas para a produção de lápis, os resultados médios obtidos para a massa específica básica neste estudo são próximos à madeira de cedro australiano (*Toona ciliata*) relatados por Pereyra et al. (2006), Albino et al. (2010) e Trianoski et al. (2014), os quais disponibilizaram valores de $0,336$ a $0,422 \text{ g.cm}^{-3}$.

Para a gmelina (*Gmelina arborea*) os valores obtidos na literatura variam de $0,432$ a $0,603 \text{ g.cm}^{-3}$ conforme relatados por Espinoza (2004), Moya e Tomazello Filho (2007; 2009). Diante dos valores de massa específica básica das espécies de *Toona ciliata* e *Gmelina arborea*, as madeiras de pinus tropicais possuem potencial para serem utilizadas como matéria-prima para a produção de lápis.

3.1.1 Massa específica básica por classe diamétrica e no sentido medula-casca de *Pinus caribaea* var. *caribaea*

Para os resultados médios obtidos para a massa específica básica em função da classe diamétrica (Tabela 1.3), observa-se diferença estatística apenas para a maior classe avaliada (classe 3), sendo obtido o maior valor ($0,385 \text{ g.cm}^{-3}$). Para as demais classes diamétricas (classe 1 e classe 2), não houve diferença estatística.

TABELA 1.3 – MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DE *P. caribaea* var. *caribaea* EM FUNÇÃO DA CLASSE DIAMÉTRICA E POSIÇÃO NA TORA

Classe diamétrica	Massa específica básica [g.cm^{-3}]	
	Próximo a medula	Próximo a casca
Classe 1	0,316 bA (0,03; 10,00%)	0,322 cA (0,03; 10,10%)
Classe 2	0,347 aA (0,03; 8,56%)	0,368 bA (0,03; 9,13%)
Classe 3	0,325 bB (0,01; 4,05%)	0,385 aA (0,06; 16,60%)
Fator de significância	14,71*	

Valores entre parêntesis correspondem ao desvio padrão e coeficiente de variação, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na horizontal ou minúscula na vertical, dentro de cada fator, não diferem entre si (Tukey, $p > 0,05$).

As toras de *P. caribaea* var. *caribaea* são oriundas de um maciço florestal jovem (14 anos), sendo observado uma amplitude diamétrica entre as toras estudadas (14 a 38 cm). Essa heterogeneidade diamétrica pode estar relacionada aos tratos silviculturais para a condução do povoamento. No entanto, ao avaliar a massa específica básica para as madeiras pertencentes à região medular das toras, nota-se diferença de 8,93% entre a maior massa específica básica (classe 2) e a menor classe (classe 1).

Já nas madeiras pertencentes às extremidades da tora, a diferença entre a maior massa específica básica (classe 3) e a menor (classe 1) foi de 16,36%. Em processos produtivos a padronização do produto acabado é uma forma de manter à competitividade do segmento industrial, tendo a segregação de madeiras em função de sua localização no sentido dos raios, como um método de controle do nível de qualidade aceitável (NQA) do produto acabado. Já que as próximas à casca são aproximadamente 18% mais densas que as madeiras

próximas à medula, consequentemente, lápis originários desta região tendem a ser mais resistentes ao apontar.

Os resultados obtidos neste estudo condizem com os disponibilizados por Silva (2005), ao estudar madeiras com 14 anos em plantios localizados no estado de Mato Grosso, que obteve massa específica básica de 0,485 a 0,529 g.cm⁻³. Iwakiri et al. (2010) obtiveram valores de 0,405 g.cm⁻³ em seus experimentos. Enquanto, Trianoski et al. (2012) relataram valores de 0,411 g.cm⁻³.

3.1.2 Massa específica básica por classe diamétrica e no sentido medula-casca de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Para os resultados médios obtidos de massa específica básica no sentido das células de raios (medula/casca), houve diferença estatística em todas as segregações de classes diamétricas (TABELA 1.4).

TABELA 1.4 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DE *P. caribaea* var. *hondurensis* EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO NA TORA

Classe diamétrica	Massa específica básica [g.cm ⁻³]	
	Próximo à medula	Próximo à casca
Classe 1	0,376 aB (7,60%)	0,456 aA (8,85%)
Classe 2	0,389 aB (11,44%)	0,432 bA (11,62%)
Classe 3	0,357 bB (8,60%)	0,393 cA (10,61%)
Fator de significância	11,10*	

Valores entre parêntesis correspondem ao desvio padrão e coeficiente de variação, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na horizontal ou minúscula na vertical, dentro de cada fator, não diferem entre si (Tukey, p > 0,05).

A diferença de massa específica básica para a madeira mais externa do tronco e entre as classes diamétricas pode estar relacionada à aleatoriedade da amostragem e heterogeneidade do povoamento florestal. Em que a classe de menor diâmetro (classe 1) não necessariamente corresponde às toras pertencentes ao fuste dos indivíduos, concomitantemente, a classe de maior diâmetro (classe 3) não necessariamente são toras da base em sua totalidade.

Em povoamentos florestais oriundos de sementes existem uma heterogeneidade de indivíduos (árvores dominantes e dominadas).

A madeira localizada próxima à medula é aproximadamente 22% mais leve que a da extremidade do tronco. Assim como, *P. caribaea* var. *caribaea*, a variedade *hondurensis* possui propriedades tecnológicas distintas entre os lápis produzidos de lamelas da região mais externa, os quais podem apresentar maior resistência em sua apontabilidade.

Os valores disponibilizados na literatura de massa específica básica para a espécie de *P. caribaea* var. *hondurensis* variam de 0,321 a 0,531 g.cm⁻³, conforme estudos realizados por Moura et al. (1991), Vicente et al. (2005), Aroni e Rezende (2007), Gonzalez et al. (2009) e Trianoski et al. (2012).

Para informações referentes as propriedades tecnológicas para a espécies de pinus tropicais oriundos da região de Agudos – SP, Amaral et al., (1977), relataram valores de 0,339; 0,402 e 0,436 g.cm⁻³, respectivamente, para povoamentos florestais de 6; 12 e 14 anos. Evidenciando que a formação de madeira adulta pela árvore, proporciona o aumento desta propriedade física.

Para a variação da densidade básica da madeira de espécies de pinus tropicais em plantios localizados na Região de Cerrado (Brasil) com 12 anos, Moura et al. (1991), encontraram valores de 0,398 a 0,424 g.cm⁻³. No entanto para as propriedades físicas da madeira de quatro procedências de pinus tropicais de povoamentos com 19 anos, Vicente et al. (2005), obtiveram valores de 0,370 g.cm⁻³ para madeiras localizadas na região da medula e 0,450 g.cm⁻³ para madeiras localizadas na região da casca.

Já Moraes et al. (2007), ao avaliar as propriedades da madeira sob o efeito de desbastes seletivos, relataram valores de 0,398 a 0,436 g.cm⁻³, para plantios florestais de 23 anos também localizados na Região de Cerrado. Enquanto Moraes Neto; Duboc (2008) disponibilizaram valores entre 0,431 a 0,531 g.cm⁻³ para madeira de 21 anos de procedência do Centro-Oeste brasileiro. Já Gonzalez et al. (2009) ao estudarem a influência do sítio nas propriedades da madeira de *P. caribaea* var. *hondurensis* com material de até 23 anos e plantios localizados também na Região de Cerrado, obtiveram valores no intervalo de 0,430 a 0,460 g.cm⁻³.

3.1.3 Massa específica básica por classe diamétrica e no sentido medula-casca de *Pinus oocarpa*

Os resultados médios obtidos para a massa específica básica no sentido das células de raios (medula-casca), houve diferença estatística em todas as segregações de classes diamétricas (TABELA 1.5). Resultados semelhantes foi evidenciado em ambas as variedades da espécie *P. caribaea* (*caribaea* e *hondurensis*).

TABELA 1.5 - MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA DE *P. oocarpa* EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO NA TORA

Massa específica básica [g.cm ⁻³]		
Classe diamétrica	Próximo à medula	Próximo à casca
Classe 1	0,390 cB (0,02; 5,94%)	0,427 bA (0,06; 13,95%)
Classe 2	0,434 aB (0,03; 7,20%)	0,502 bA (0,03; 9,43%)
Classe 3	0,465 bB (0,07; 15,95%)	0,494 bA (0,06; 11,40%)
Fator de significância	7,08*	

Valores entre parêntesis correspondem ao desvio padrão e coeficiente de variação, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na horizontal ou minúscula na vertical, dentro de cada fator, não diferem entre si (Tukey, $p > 0,05$).

Para os resultados médios obtidos para a madeira próxima à medula, nota-se diferença estatística entre todas as classes diamétricas, sendo crescente, conforme o incremento do diâmetro das toras. Madeiras originárias de toras de maior diâmetro (classe 3) são 16% mais densas que aquelas pertencentes as toras mais finas. Já para as localizadas próxima a casca não houve diferença estatística entre as classes diamétricas.

A espécie de *P. oocarpa* teve a maior massa específica básica dentre os pinus tropical avaliados para a produção de lápis. Kaygin et al. (2015) ressaltam a importância da massa específica da madeira para a indústria do lápis, pelo conforto ao apontar o produto e a resistência à quebra de ponta com uma inclinação de 60°, aliado a baixa elasticidade da madeira, para que não ocorra a quebra do grafite (mina) no interior do lápis durante o manuseio.

Os valores disponibilizados na literatura de massa específica básica para a espécie de *P. oocarpa* variam entre 0,431 a 0,564 g.cm⁻³, conforme estudos realizados por Brito e Nucci (1984), Sampaio (1996) e Mendes et al. (2002) e Trianoski et al. (2013).

Para variações da massa específica em *Pinus oocarpa* por meio da técnica de atenuação de radiação gama Resende et al. (1999), encontraram valor médio de 0,564 g.cm⁻³ para árvores com 24 anos. Enquanto, Sansígolo; Barreiros (2004) ao compararem as espécies de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*, encontraram valores de massa específica de 0,437 g.cm⁻³ para indivíduos com 20 anos. Já Moraes Neto; Melo (2008) disponibilizaram valores entre 0,431 a 0,531 g.cm⁻³ para madeira de 21 anos de procedência do Centro-Oeste brasileiro.

Ao utilizar a espécie para a produzir painéis colados lateralmente – EGP Prata (2010), utilizou madeiras com 0,458 g.cm⁻³ e para a variação longitudinal da densidade básica da madeira Trianoski et al. (2013), relataram massa específica básica de 0,512 g.cm⁻³.

3.2 CONTRAÇÃO DAS ESPÉCIES

Os resultados médios obtidos para as contrações totais, a espécie de *Pinus caribaea* var. *caribaea* apresentou os menores valores entre os pinus tropical avaliados, diferindo estatisticamente dos demais. No entanto, o coeficiente de anisotropia médio, foi maior que as demais espécies de pinus tropicais utilizados para a fabricação de lápis. Tais resultados, podem estar relacionados à menor idade para esta variedade de pinus tropical (TABELA 1.6).

A magnitude de contração para todas as espécies está em acordo com os relatos de Skaar (1988) e Tsoumis (1991), para madeiras de coníferas, os quais, relatam variações de 2,1 a 5,1% para o sentido radial, 4,4 a 9,1% para o tangencial e 6,5 a 14% para a contração volumétrica total da madeira. A mensuração da contração volumétrica mencionada pelos autores citados, compreendem a contração no sentido axial, sendo que esse sentido anatômico não foi considerado para esta pesquisa.

TABELA 1.6 – CONTRAÇÃO DA MADEIRA DE *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *hondurensis* E *P. oocarpa*

Espécie	Contração da madeira (%)			Coeficiente de Anisotropia
	Radial	Tangencial	Volumétrico	
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	2,86 a (35,40%)	5,39 a (22,75%)	8,25 a (21,63%)	1,88 b
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	3,90 b (30,45%)	6,02 b (28,69%)	9,93 b (25,73%)	1,54 a
<i>Pinus oocarpa</i>	3,87 b (28,98%)	6,19 b (24,59%)	10,07 b (21,06%)	1,60 a
Fator de significância	95,83*	35,03*	128,55*	61,08*

Valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula (vertical) não diferem estatisticamente entre si (Tukey, $p > 0,05$).

Vital e Trugilho (1997) e Oliveira et al. (2010) enfatizam que a variação dimensional ocorre, normalmente, em madeiras de maior massa específica, explicada pela maior quantidade de madeira por unidade de volume, além de conter mais água na parede celular para um mesmo teor de umidade. Fato este evidenciado para a espécie de *Pinus oocarpa* (10,07%), que teve a massa específica básica mais elevada ($0,463 \text{ g.cm}^{-3}$).

Já para a contração volumétrica total (somatório das contrações radial e tangencial), observam-se valores de 8,25; 9,93 e 10,07%, respectivamente para a madeira de *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa*. Ressaltam-se os baixos valores para a contração volumétrica. Para o coeficiente de anisotropia (relação entre contração tangencial e radial) dos pinus tropicais avaliados, foram encontrados valores que compreendem de 1,54 a 1,88. As madeiras de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa*, não diferiram.

Para a avaliação da estabilidade dimensional da madeira deve sempre levar em consideração a contração volumétrica total, juntamente com o coeficiente de anisotropia. Pois, sua avaliação de forma isolada não caracteriza uma espécie como sendo estável dimensionalmente. Chies (2005) ressalta que baixos valores do coeficiente de anisotropia podem ser oriundos de contrações tangencial e radial elevados, o que demonstra ser uma madeira com alta instabilidade dimensional.

A movimentação dimensional e as diferenças entre as contrações radial e tangencial são propriedades físicas de interesse na fabricação de lápis, pois o

processo de fabricação do mesmo ocorre por meio da colagem de duas lamelas (tabuinhas) e a tolerância para o encurvamento é de 0,5mm ao longo do comprimento do lápis. Diante dos resultados obtidos, pode-se prever que as espécies de pinus tropicais estudadas se qualificam como matéria-prima para lápis.

3.2.1 Contração da madeira por classe diamétrica e no sentido medula-casca de *Pinus caribaea* var. *caribaea*

Para as análises de contração da madeira de *P. caribaea* var. *caribaea*, observam-se que as toras com diâmetro de 14,0 a 32,0 cm (classes 1 e 2) e para as madeiras localizadas próxima à casca, tiveram os maiores índices de contração total de 7,25 e 9,60%, respectivamente. Enquanto a madeira próxima à casca das toras de maior diâmetro (classe 3) contraíram cerca de 18,07% a mais que a localizada próxima à medula (TABELA 1.7).

TABELA 1.7 - CONTRAÇÃO DA MADEIRA DE *P. caribaea* var *caribaea* EM FUNÇÃO DA CLASSE DIAMÉTRICA E NO SENTIDO MEDULA-CASCA

Classe diamétrica	Contração Radial (%)		Fator de significância
	Próximo à medula	Próximo à casca	
Classe 1	2,74 bA (16,11%)	2,15 bB (25,86%)	5,41**
Classe 2	3,61 aA (21,90%)	3,08 aB (27,10%)	
Classe 3	2,79 bA (37,80%)	2,91 aA (47,74%)	
Classe diamétrica	Contração Tangencial (%)		Fator de significância
	Próximo à medula	Próximo à casca	
Classe 1	4,87 aA (14,40%)	5,10 cA (18,63%)	13,10**
Classe 2	4,97 aB (18,80%)	6,52 aA (17,82%)	
Classe 3	4,19 bB (16,58%)	5,61 bA (18,40%)	

... continuação

Classe diamétrica	Contração Volumétrica (%)		Fator de significância
	Próximo à medula	Próximo à casca	
Classe 1	7,61 bA (11,61%)	7,25 cA (19,51%)	10,47**
Classe 2	8,58 aB (16,07%)	9,60 aA (16,66%)	
Classe 3	6,98 bB (17,31%)	8,52 bA (21,56%)	
Classe diamétrica	Coeficiente de anisotropia		
	Próximo à medula	Próximo à casca	
Classe 1	1,99	2,83	
Classe 2	1,42	2,25	
Classe 3	1,53	1,99	

Valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na horizontal ou minúscula na vertical, dentro de cada fator, não diferem entre si (Tukey, $p > 0,01$).

De forma geral, os índices de contração volumétrica da espécie são baixos, independente da região em que a madeira se encontra (medula ou casca). A compreensão da propriedade física de contração da madeira destinada à produção de lamelas para a fabricação de lápis se torna importante, pela quantidade de lamelas produzidas a partir de uma tora. Por se tratar de um produto de dimensões pequenas, cada lamela tem a probabilidade de produzir até 10 ranhuras, consequentemente até 10 lápis.

Para a madeira de menor classe diamétrica (classe 1), nota-se menor estabilidade para a porção próxima à medula e, esta região proporcionou maior variação dimensional nos sentidos radial, tangencial e volumétrico. Esta alta variabilidade dos resultados está associada à complexidade da estrutura celular da madeira. No entanto, ao avaliar o coeficiente de anisotropia, percebe-se que a madeira próxima à medula possui maior estabilidade dimensional.

Para a razão entre as diferenças de contração tangencial e radial, nota-se que a madeira localizada próxima à medula apresentou os menores valores, conferindo maior estabilidade que a localizada próxima à casca. Tal fato está relacionado à massa específica deste tipo de lenho e as afirmações de Kollmann e Côté Junior (1968), Galvão; Jankowsky (1985) e Oliveira et al. (2010), ao mencionarem que a contração no sentido tangencial oscila em torno do dobro da ocorrida no sentido radial.

Essas diferenças de contração da madeira nos seus planos anatômicos podem ser atribuídas à constituição das estruturas microscópicas e sub-microscópicas do próprio material, pois estes se encontram organizados verticalmente no sentido radial em relação ao sentido tangencial, fazendo com que o número de paredes celulares por unidade de volume seja bem menor no sentido radial.

Diante dos resultados obtidos para a contração volumétrica e o coeficiente de anisotropia a madeira de *P. caribaea* var. *caribaea*, com 14 anos de idade, pode ser considerada baixa em ambas as regiões da tora (medula e casca).

Na literatura não há muitos relatos sobre a contração da madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, porém, é necessário comparar os resultados obtidos nesta pesquisa com os relatados por Banks (1977) que, ao avaliar a qualidade da madeira desta espécie plantados no continente africano, obteve contrações de 3,20; 6,70 e 10,30% respectivamente para os sentidos radial, tangencial e volumétrico, concomitantemente, o coeficiente de anisotropia de 2,09. Vale salientar que o autor, estudou madeiras provenientes de florestas com idade entre 20 a 24 anos.

Já para a estabilidade dimensional de espécies de pinus tropicais Trianoski et al. (2013), relataram valores de 2,62; 6,01 e 8,69% respectivamente para os sentidos radial, tangencial e volumétrico e coeficiente anisotrópico de 2,45. Enquanto, Flavinha et al. (2016) encontram 6,12; 8,07 e 14,30% respectivamente para os sentidos radial, tangencial e volumétrico. Com base nos resultados obtido pelos autores coeficiente anisotrópico foi de 1,32.

3.2.2 Contração da madeira por classe diamétrica e no sentido medula-casca de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

A contração da madeira de *P. caribaea* var. *hondurensis* em função da classe diamétrica e posição na tora pode ser visualizada na Tabela 1.8. Para os valores obtidos para a menor classe diamétrica (classe 1), observa-se que a madeira localizada próxima à medula, proporcionou as menores contrações (3,90; 4,87 e 8,77%), respectivamente para o sentido radial, tangencial e volumétrico, com relação aos valores obtidos para a madeira externa ao tronco,

desta mesma classe diamétrica. No entanto, ao analisar o fator anisotrópico, nota-se que a madeira localizada próxima à medula, tiveram os maiores coeficientes de anisotropia.

TABELA 1.8 - CONTRAÇÃO DA MADEIRA DE *P. caribaea* var. *hondurensis* EM FUNÇÃO DA CLASSE DIAMÉTRICA E NO SENTIDO MEDULA-CASCA

Classe diamétrica	Contração Radial (%)		Fator de significância
	Próximo à medula	Próximo à casca	
Classe 1	3,90 aB (33,08%)	4,80 aA (29,80%)	13,43**
Classe 2	3,46 abB (28,38%)	5,16 aA (17,95%)	
Classe 3	3,32 bA (36,50%)	3,50 bA (18,87%)	
Classe diamétrica	Contração Tangencial (%)		Fator de significância
	Próximo à medula	Próximo à casca	
Classe 1	4,87 bB (27,25%)	6,63 bA (27,04%)	23,50**
Classe 2	4,73 bB (26,10%)	7,76 aA (10,51%)	
Classe 3	5,39 aB (28,30%)	6,35 bA (17,44%)	
Classe diamétrica	Contração Volumétrica (%)		Fator de significância
	Próximo à medula	Próximo à casca	
Classe 1	8,77 aB (24,26%)	11,43 bA (22,24%)	23,50**
Classe 2	8,19 aB (25,29%)	12,92 aA (11,36%)	
Classe 3	8,71 aB (26,44%)	9,84 cA (12,35%)	
Classe diamétrica	Coeficiente de anisotropia		
	Próximo à medula	Próximo à casca	
Classe 1	1,34	1,55	
Classe 2	1,41	1,54	
Classe 3	1,77	1,91	

Valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na horizontal ou minúscula na vertical, dentro de cada fator, não diferem entre si (Tukey, $p > 0,01$).

Resultados semelhantes são percebidos ao avaliar a segunda classe diamétrica (classe 2) em que, madeiras localizadas próxima à medula, possuem os menores índices de contração volumétrica, assim como, o coeficiente de anisotropia.

Percebe-se que a variedade *hondurensis* de *Pinus caribaea*, possui características desejáveis como matéria-prima para a fabricação de lápis, em função dos índices de variação dimensional da madeira, aliado ao coeficiente de anisotropia da madeira medular, assim como, para a madeira localizada próxima a casca. De forma geral, a espécie de *P. caribaea* var. *hondurensis*, segundo a classificação sugerida por Klitzke (2007), pode ser considerada com estável, com tendência a baixa propensão de defeitos no processo de secagem e, até mesmo a variações bruscas na sua umidade de equilíbrio higroscópico.

Para a espécie de *P. caribaea* var. *hondurensis* há um maior número de pesquisas de caráter exploratório das propriedades físicas, a citar o estudo realizado por Banks (1977) que, ao avaliar a qualidade da madeira desta espécie proveniente do continente africano, obteve contrações de 2,90; 5,70 e 8,60%, respectivamente para as direções radial, tangencial e volumétrico em árvores de 25 anos. O coeficiente de anisotropia, obtido pelo autor foi de 1,97, sendo superior aos obtidos por esta pesquisa independente da classe diamétrica avaliada. Para madeiras de 8 anos Rezende et al. (1995) relataram valores de 4,30; 5,40 e 10,20% de contração radial, tangencial e volumétrico, respectivamente.

Por outro lado, Rezende (2003), obteve contração na ordem de 4,39; 5,79 e 10,63%, para os sentidos radial, tangencial e volumétrico em árvores de 8 anos de idade. Já propriedades físicas de quatro procedências de pinus Vicente et al. (2005), obtiveram valores para a contração de 3,45; 6,05 e 9,75% (radial, tangencial e volumétrica) e coeficiente de anisotropia de 1,80 para madeira de 19 anos em plantios localizados no cerrado brasileiro. Ao avaliarem a influência de dois sítios nas propriedades da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, em madeiras de 22 anos, Gonzalez et al. (2009) encontraram contrações de 3,35; 6,18 e 9,54% (radial, tangencial e volumétrica) e fator anisotrópico de 1,84, em plantios florestais localizados em Mambá-GO. Já as madeiras provenientes de Catalão-GO, tiveram contração radial, tangencial e volumétrica de 4,17; 5,73 e 9,90%, respectivamente, enquanto, o coeficiente de anisotropia de 1,37 em povoamento florestal de 23 anos.

Para madeiras provenientes também do Cerrado, Santos et al. (2012) encontraram contrações radial, tangencial e volumétrico de 4,12; 6,34 e 10,46%, respectivamente, e fator anisotrópico de 1,54. Já Trianoski et al. (2013), ao

avaliar a estabilidade dimensional de espécies de pinus tropicais, relataram valores de 2,42; 5,74 e 8,95% respectivamente para os sentidos radial, tangencial e volumétrico e coeficiente anisotrópico de 2,52. Enquanto, González et al. (2018), ao estudarem a relação da largura dos anéis de crescimento da madeira com suas propriedades, encontraram contração de 4,92; 6,00 e 10,86% (radial, tangencial e volumétrico) para madeiras com maior porcentagem de lenho inicial. Enquanto, as madeiras com maior porcentagem de lenho final os autores relataram valores de 6,53; 7,96 e 14,14% para os sentidos radial, tangencial e volumétrico da madeira.

3.2.3 Contração da madeira por classe diamétrica e no sentido medula-casca de *Pinus oocarpa*

Quanto aos resultados obtidos para a contração da madeira de *P. oocarpa*, nota-se de forma geral que a espécie avaliada, possui baixa movimentação dimensional, apesar da madeira apresentar a maior massa específica básica entre todos os pinus tropicais avaliados para a produção de lápis (TABELA 1.9).

A madeira próxima à medula pertencente as toras mais finas (classe 1) tiveram os menores índices de contração volumétrico (média de 8,18%), entretanto, o coeficiente de anisotropia, foi o mais elevado valor médio de 1,87. No entanto, ao avaliar a segunda classe diamétrica em que, madeiras localizadas próxima à medula, apresentaram os maiores índices de contração volumétrica (10,81%), em comparação à localizada próxima à casca para esta mesma classe diamétrica. Já para a terceira classe diamétrica, as madeiras localizadas próxima à medula tiveram os menores índices de contração volumétrica.

TABELA 1.9 - CONTRAÇÃO DA MADEIRA DE *P. oocarpa* EM FUNÇÃO DA CLASSE DIAMÉTRICA E NO SENTIDO MEDULA-CASCA

Classe diamétrica	Contração Radial (%)		Fator de significância
	Próximo à medula	Próximo à casca	
Classe 1	3,01 cB (26,30%)	4,22 aA (24,80%)	31,27**
Classe 2	4,33 aA (20,65%)	3,46 bB (23,96%)	
Classe 3	3,50 bB (33,08%)	4,42 aA (29,80%)	
Classe diamétrica	Contração Tangencial (%)		Fator de significância
	Próximo à medula	Próximo à casca	
Classe 1	5,17 bB (28,73%)	6,65 abA (19,26%)	19,12**
Classe 2	6,65 aA (21,06%)	6,22 bA (19,35%)	
Classe 3	5,45 bB (27,25%)	7,15 aA (27,04%)	
Classe diamétrica	Contração Volumétrico (%)		Fator de significância
	Próximo à medula	Próximo à casca	
Classe 1	8,18 bB (19,71%)	10,87 aA (15,89%)	36,18**
Classe 2	10,81 aA (13,84%)	9,68 bB (18,60%)	
Classe 3	8,95 bB (24,26%)	11,56 aA (22,24%)	
Classe diamétrica	Coeficiente de anisotropia		
	Próximo à medula	Próximo à casca	
Classe 1	1,87	1,71	
Classe 2	1,59	1,87	
Classe 3	1,68	1,75	

Valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na horizontal ou minúscula na vertical, dentro de cada fator, não diferem entre si (Tukey, $p > 0,01$).

Para o coeficiente anisotrópico a espécie de *P. oocarpa* segundo a classificação sugerida por Klitzke (2007), pode ser considerada com estável, com tendência à baixa propensão de defeitos no processo de secagem e até mesmo a variações bruscas na sua umidade de equilíbrio higroscópico.

Masseran e Mariaux (1985) e Durlo e Marchiori (1992) elucidam que, quanto maior o número de células de raio, que constituem a estrutura anatômica da madeira, tanto no sentido medula à casca, quanto ao longo do fuste, maior a contribuição em termos da restrição da variação dimensional na direção radial.

Entretanto, outros fatores como as dimensões radiais dos traqueídeos e diferenciação química entre as paredes celulares radiais e tangenciais também podem ser fatores decisivos na influência da anisotropia da retratibilidade das madeiras.

A importância da compreensão da característica da madeira de 35 anos para a indústria de lápis ocorre em função da previsibilidade do lápis produzido, tanto na região de madeira medular, como na externa da tora, quanto as suas características de empenamentos e resistência ao torque em sua apontabilidade.

Para qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* em povoamento florestal de 14 anos, Klock (1990) relatou contrações de 2,72; 5,69 e 8,61% (radial, tangencial e volumétrico) para madeiras localizadas na região interna das árvores e para as da região externa, valores de 4,09; 7,79 e 11,66% (radial, tangencial e volumétrico, respectivamente). Os fatores anisotrópicos foram de 2,10 e 1,95, respectivamente para madeiras das regiões interna e externa. Para árvores de 18 anos, o autor disponibilizou valores de 2,96; 6,57 e 9,53% (radial, tangencial e volumétrico) para madeiras localizadas na região interna das árvores e para madeiras localizadas na região externa valores de 4,39; 7,76 e 11,98% (radial, tangencial e volumétrico, respectivamente). Os fatores anisotrópicos foram de 2,26 e 1,82, respectivamente para madeiras das regiões interna e externa.

Por outro lado, Glass e Zelinka (2010) relataram contração de 4,60; 7,50 e 12,30%, respectivamente para os sentidos radial, tangencial e volumétrico, com fator anisotrópico de 1,63. Já Trianoski et al. (2013), relataram valores de 2,89; 6,47 e 10,22% respectivamente, para os sentidos radial, tangencial e volumétrico e coeficiente anisotrópico de 2,45. Enquanto, Cavalheiro et al. (2016), encontraram contrações de 6,47; 9,89 e 17,10% (radial, tangencial e volumétrico) e coeficiente anisotrópico de 1,53. Verifica-se que os resultados obtidos pelos autores foram superiores aos encontrados nesta pesquisa, e as prováveis diferenças estão associadas aos aspectos de idade, massa específica, amostragem, condições de crescimento e, conseqüentemente, diferentes procedências, as quais não foram mencionadas.

4. CONCLUSÕES

- As madeiras de *Pinus* tropicais se classificam como madeiras leves, as qualificando como matéria-prima para produção lápis;
- As espécies de *Pinus caribaea* (var. *caribaea* e var. *hondurensis*), tiveram os menores valores de massa específica básica e a maior estabilidade dimensional dentre os *Pinus* tropicais avaliados para a produção de lápis;
- Lápis produzidos a partir de madeiras próxima à medula, possuem menor resistência ao torque para sua apontabilidade;
- A estabilidade dimensional das madeiras de *Pinus* tropicais atende o nível de qualidade aceitável para a manufatura de lápis;
- A madeira de *Pinus* tropicais estudadas pode ser considerada como uma alternativa às espécies tradicionalmente utilizadas na indústria de lápis.

REFERÊNCIAS

- ALBINO, V. C. S.; SÁ, V. A.; BUFALINO, L.; MENDES, L. M.; ALMEIDA, N. A. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis compensados de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*. **Cerne**, v. 17, p. 103-108, 2010.
- AMARAL, A.C.; FERREIRA, M.; COUTO, H.T.Z. Métodos de avaliação da densidade básica da madeira de populações de pinheiros tropicais. **IPEF**, n.15, p.47-67, 1977.
- AMORIM, P.G. R.; GONÇALEZ, J. C.; GONÇALVES, R.; TELES, R. F.; SOUZA, F. Ultrasound waves for assessing the technological properties of *Pinus caribaea* var *hondurensis* and *Eucalyptus grandis* wood. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 15, p. 2-10, 2013b.
- ARONI, A.S.; REZENDE, M.A. Avaliação dos índices de produtividade do híbrido do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanii*, no Estado de São Paulo. **Energia Agrícola**, v. 22, n.1, p. 17- 32, 2007.
- BANKS, C.H. Some observations on the quality of the timber of South African grown *Pinus caribaea* var. *caribaea* and var. *hondurensis*. **South African Forestry Journal**, n. 102, p. 1-7, 1977.
- BARNES, R.D.; WOODEND, J.J.; SCHWEPPENHAUSER, M.A.; MULLIN, L.J. Variation in diameter growth and wood density in six-years-old provenance trials of *Pinus caribaea* Morelet on five sites in Rodhesia. **Silvae Genetica**, v. 28, n.5-6, p.163-167, 1977.
- BRAZ, R. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; ROSADO, A. M.; VIDAURRE, G. B.; PAES, J. B.; TOMAZELLO FILHO, M.; LOIOLA, P. L. Caracterização anatômica, física e química da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em áreas sujeitas à ação de ventos. **Ciência da Madeira**, v. 5, p. 127-137, 2014.
- BRAZ, R. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C.; RODRIGUES, B. P. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Toona ciliata* em diferentes idades. **Floresta**, v. 43, p. 663-670, 2013.
- BRITO, J.O.; NUCCI, O. Estudo tecnológico da madeira de *Pinus* spp para a produção de carvão vegetal e briquetagem. **IPEF**, n. 26, p. 25-30, 1984.

CARVALHO, A. **Madeiras portuguesas**. Viseu: Departamento de Engenharia de Madeiras - Escola Superior de Tecnologia de Viseu, 1996. v.1.

CAVALHEIRO, R. S.; ALMEIDA, D. H.; ALMEIDA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Density as estimator of shrinkage for some brazilian wood species. **International Journal of Materials Engineering**, v. 6, p. 107-112, 2016.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 12f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 461**: Determinación del peso específico aparente. Buenos Aires, 1972. 8p.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 462**: Método de determinación de la contracción. Buenos Aires, 1972. 8p.

CORREA, R. S. **Efeito dos atributos do solo na produtividade e qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira**: retratibilidade. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 33p.

ESPINOSA, J. A. Within-tree density gradients in *Gmelina arborea* in Venezuela. **New Forests**, v. 28, n. 2/3, p. 309-317, 2004.

FALAVINHA, A. F.; LOGSDON, N. B.; FINGER, Z. Estudo da estabilidade dimensional de *Pinus caribaea* var. *caribaea* Haine, de um plantio homogêneo localizado em diamantino-MT. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 24., 2016, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: UFMT, 2016, p. 9.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. Moisture relations and physical properties of wood. In: **Wood handbook**: wood as an engineering material. 100 ed. Madison: USDA,

Forest Service, Forest Products Laboratory, Cap. 4., p. 1-20, 2010. (General Technical Report, FPL-GTR, 190).

GONÇALEZ, J.C.; SANTOS, N.; SILVA, F. G.; SOUZA, R. S.; PAULA, M. H. Growth ring width of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and its relationship with wood properties. **Scientia Forestalis**, v. 46, p. 309-317, 2018.

GONÇALEZ, J.C.; VIEIRA, F.S.; CAMARGOS, J.A.A.; ZERBINI, N.J. Influência do sítio nas propriedades da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 251-255, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Banco de dados de madeiras brasileiras**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M; PINTO, J.A.; VIANA, L.C.; SOUZA, M.M.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V.C. Produção de painéis laminados unidirecionais LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 557 - 563, 2010.

JUIZO, C. G. F.; LOIOLA, P. L.; ZEN, L. R.; CARVALHO, D. E.; BILA, N. F.; EGAS, A. F.; ROCHA, M. P.; KLITZKE, R. J. Variação radial das propriedades físicas da madeira de *Pinus patula* plantados em Moçambique. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, p. 285, 2015.

KAYGIN, B.; KAPLAN, D.; AYDEMIR, D. *Paulownia* tree as an alternative raw material for pencil manufacturing. **BioResources**, v.10, n.2, p. 3426 –3433, 2015.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Orgs.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007, v. 1, p. 271-366.

KLOCK, U. Qualidade da Madeira de *Pinus oocarpa* Schiède e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr e Golf. **Floresta**, v. 20, n.1- 2, p. 89-90, 1990.

KOLLMANN, F. E. P.; CÔTE JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**: solid wood. Berlin: Springer-Verlag, v.1. 1968. 592p.

LATORRACA, J. V.; ALBUQUERQUE, C. E. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v.7, n. 1, p. 279-291, 2000.

LOIOLA, P. L.; MARCHESAN, R.; FRANCA, M. C.; JUIZO, C. G.; ROCHA, M. P.; KLITZKE, R. J. Yield of a portable sawmill and wood drying of *Hovenia dulcis* in conventional kiln. **Floresta**, v. 49, p. 79-88, 2019.

MASSERANN, C.; MARIAUX, A. Anisotropie de retrait et structure du bois. recherche de l'influence des caractères morphologiques transverses des fibres. **Bois et Forêts Dês Tropiques**, n. 209, p. 35 - 47, 1985.

MELO, J. E.; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia Brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: Florestas e Meio Ambiente: conservação e produção, patrimônio social. 1990. p. 695-699.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT JR, S.; SALDANHA, L. K. *Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Ciência Florestal**, v. 12, n.2, p. 135-145, 2002.

MORAES NETO, S.P.; DUBOC, E. Parâmetros genéticos da densidade básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 213, 2008, 18p.

MORAES NETO, S. P.; MELO, J. T. **Parâmetros genéticos da densidade básica da madeira de *Pinus oocarpa***. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008, 19p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

MORAES, M.L.T.; MISSIO, R.F.; SILVA, A.M.; CAMBUIM, J.; SANTOS, L.A.; RESENDE, M.D.V. Efeito do desbaste seletivo nas estimativas de parâmetros genéticos em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, n. 74, p. 55-65, 2007.

MOURA, G. P. V.; PARCA, S. L. M.; SILVA, A. M. **Variação da densidade básica da madeira de espécies e procedências de *Pinus* centro-americanos em três locais na região dos cerrados**. Colombo: Embrapa Florestas, n. 22/23, p. 29 - 44, 1991. (Boletim de Pesquisa Florestal).

MOYA, R.; TOMAZELLO FILHO, M. Wood density variation and tree ring demarcation in *Gmelina arborea* trees using X-ray densitometry. **Cerne**, v. 15, p. 92-100. 2009.

OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v.34, n.5, p. 929 - 936. 2010.

PAES, J. B.; LOIOLA, P. L.; EUFLOSINO, A. E. R.; SALVADOR, F. M.; VITORIA, J. B. Efeito de soluções salinas na estabilidade dimensional da madeira de kiri (*Paulownia tomentosa*). **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 21, p. 72-84, 2013.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 4 ed. New York: MacGraw-Hill, 1980. 722 p.

PEREYRA, O.; SUIREZS, T. M.; PITSCH, C.; BAEZ, R. Estudio de las propiedades físico-mecánicas y comportamiento en procesos industriales de La madera de kiri, grevilea, paraíso y toona. **Floresta**, v. 36, n. 2, p. 213-223, 2006.

PRATA, J.G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de Pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panels – EGP)**. 2010. 114f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

REZENDE, M. A. Retratabilidade da madeira de *Pinus* var *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis* e suas relações com a umidade e densidade. **Scientia Forestalis**, v. 64, p. 120-127, 2003.

REZENDE, M.A.; SAGLIETTI, J.R.C.; GUERRINI, I.A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratabilidade e umidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, n. 48-49, p. 133-141, 1995.

REZENDE, M.A.; SEVERO, E.T.D.; QUINTANA, I.R. Estudo das variações da massa específica em *Pinus oocarpa* através da técnica de atenuação de radiação gama. **Floresta**, v. 29, n.1, p. 67-84, 1999.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa: UFV, 2001.

SAMPAIO, P.T.B. **Variação genética entre procedências e progênies de *Pinus oocarpa* Schiede, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. & Golf. e *Pinus maximinoi* H. E. Moore e métodos de seleção para melhoramento**

genético. 169f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SANSÍGOLO, C. A.; BARREIROS, R. M. Estudo comparativo das madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* para produção de celulose Kraft. In: CONGRESO IBEROAMERICANO EN CELULOSA Y PAPEL, 3., 2004, Cordoba. **Anais...** CIADICYP, 2004.

SANTOS, C. M. T.; DEL MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R. Properties of thermo-mechanically treated wood from *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **BioResources**, v.7, p. 1850 – 1865, 2012.

SILVA, J.M. **Análises genéticas em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* por caracteres quantitativos e marcadores moleculares**. 129f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita, Ilha Solteira, 2005.

SKAAR, C. **Wood-water relations**. New York: Spring-Verlag. 1988. 283p.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Biostatística: princípios y procedimientos**. México: McGraw-Hill, 1988. 622p.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Avaliação da estabilidade dimensional de espécies de *Pinus* tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 398-406, 2013.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Avaliação das propriedades mecânicas da madeira de espécies de *Pinus* tropicais. **Scientia Forestalis**, v. 42, p. 21-28, 2014a.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S. Propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira de cedro australiano cultivado em Corupá, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, p. 435-441, 2014b.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494p.

VICENTE, A.T.V.; MOURA, V.P.G.; FIORENTINI, E.A.; SOUZA, M.R. **Variação radial e axial da massa específica básica e das contrações de madeira de**

quatro procedências de *Pinus*. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. n. 28, 2005. 27 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento)

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; NUTTO, L.; NISTAL, F. J. F.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C. Propriedades da madeira de reação. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 1-37, 2013.

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 18, p.10-18, 2011.

VITAL, B. R.; TRUGILHO, P. F. Variação dimensional e uso da madeira de *Eucalyptus*. **Informe Agropecuário**, v. 18, n. 186, p. 57-61. 1997.

CAPÍTULO 2 – SECAGEM CONVENCIONAL DA MADEIRA DE *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* E *Pinus oocarpa* PARA PRODUÇÃO DE LÁPIS

RESUMO

Este capítulo teve por objetivo avaliar a qualidade da madeira seca pelo método de secagem em câmara convencional, sob seus aspectos qualitativos de ocorrência de empenamentos para três espécies de pinus tropicais destinados à produção de lápis. A secagem foi conduzida em uma câmara de secagem convencional piloto, sendo avaliada duas metodologias de secagem. A primeira foi a secagem de tábuas com 40 mm de espessura e a segunda foi a secagem de lamelas com 5 mm de espessura sobrepostas em oito camadas, das madeiras de *Pinus caribaea* var. *caribaea* de 14 anos, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 25 anos e *Pinus oocarpa* de 35 anos. O programa de secagem foi desenvolvido tendo como base tempo, temperatura e umidade. As madeiras estudadas são provenientes de povoamentos florestais localizados na Região do Cerrado brasileiro. Foram avaliados os parâmetros taxa de secagem, tempo de secagem, contração da madeira e a qualidade da madeira seca. A secagem das tábuas de 40 mm de espessura foi o método em que o teor de umidade final da madeira foi próximo ao programado, conforme a elaboração do programa de secagem e as madeiras não tiveram incidência de defeitos de secagem, os quais, comprometem a sua utilização na indústria de lápis. Diferentemente da secagem das lamelas, que resultou em elevados índices de empenamentos (encanoamento), comprometendo o processo de produção.

Palavras-chave: Câmara de secagem convencional. Método de secagem. Qualidade da madeira. Defeitos de secagem.

ABSTRACT

The method and drying process conducted in an appropriate manner contributes to the removal of moisture from the wood, up to predetermined values, with the minimum occurrence of defects, with the shortest possible time and in an economically feasible way for the final use product. The objective of this chapter was to evaluate the quality of dry wood by the conventional kiln drying method, under its qualitative aspects of occurrence of warping in three species of tropical *Pinus* for the manufacture of pencils. The drying was conducted in a conventional pilot drying chamber, and two drying methodologies were evaluated. The first one was the drying of planks with 40mm of thickness and the second one was the drying of 5mm thick lamella of the woods of 14 years old *Pinus caribaea* var. *caribaea*, 25 year old *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and 35 year old *Pinus oocarpa*. All species come from the Brazilian Cerrado region afforestation. The parameters of drying rate, drying time, wood retraction and dry wood quality were evaluated. The drying of the 40mm thick boards was the method in which the final moisture content of the wood was close to the one programmed, according to the preparation of the drying program, and the wood did not had any drying defects which could compromise its use for the manufacture of solid wood products, different from the drying of the lamella, in which high warping compromised the wood processing.

Keywords: Conventional kiln drying. Drying method. Quality of wood. Drying defects.

1. INTRODUÇÃO

O processo de secagem da madeira é de fundamental importância para a agregação de valor aos produtos manufaturados desta matéria-prima e tem por objetivo melhorar as características de trabalhabilidade, redução da movimentação dimensional, além de proporcionar maior resistência ao ataque de organismos xilófagos (ANDRADE et al., 2001; KLITZKE et al., 2010). Loiola (2015) ainda complementa que, quando não conduzido de forma adequada, gera perdas significativas para a cadeia produtiva, principalmente pelos defeitos, como rachaduras, empenamentos e colapso.

Os principais fatores que afetam a eficiência da secagem de madeiras são os equipamentos utilizados, o sistema de controle-gerenciamento, as intervenções realizadas durante o processo e o programa de secagem. Destaca-se que a ineficácia do processo de secagem se deve à rápida perda da umidade superficial e à lenta translocação da umidade das camadas mais internas para a superfície da madeira.

A escolha do método de secagem afeta diretamente os custos operacionais do processo produtivo em função do nível de especificidade atrelado ao processo, do tempo total de secagem, do nível de qualidade aceitável do material seco e, na obtenção do teor de umidade dentro da especificação esperada para a manufatura do produto. Dentre os métodos de secagem utilizados pela indústria de transformação da madeira no Brasil, encontra-se a secagem em câmara convencional, que evoluiu quanto a equipamentos e controle-gerenciamento do processo e a secagem em altas temperaturas, a qual possui uma lacuna a ser explorada.

A secagem em câmara convencional é um método que, no primeiro contato, é considerado de alto custo por necessitar de elevado investimento inicial e do alto consumo de energia elétrica, que inicialmente resulta em elevados custos de produção. No entanto, em médio e longo prazo, o investidor vislumbra benefícios em função da redução do tempo empregado no processo, quando comparado à secagem natural e do capital imobilizado para manter o volume de madeira utilizada na rotatividade do pátio de secagem ao ar livre. Isto explica o interesse em se buscar formas eficientes de secar a madeira com a rápida redução do teor de umidade sem proporcionar defeito que inviabilizarem

o uso final da madeira. Pratt (1974) relatou que as câmaras convencionais de secagem operam com temperaturas entre 35 e 90 °C. Estes equipamentos dispõem de um sistema de aquecimento, um de umidificação do ar, um conjunto de “*dumpers*” que permitem a troca de ar entre o interior e o meio externo e um de ventilação que promove a circulação do ar através das pilhas de madeira.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Verificar a qualidade da madeira seca pelo método de secagem em câmara convencional, sob seus aspectos qualitativos de ocorrência de empenamentos de três espécies de pinus tropicais para a produção de lápis.

1.2.2 Objetivos específicos

Avaliar a influência da espessura da madeira na taxa de secagem da madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*;

Analisar a contração em largura e espessura da madeira na secagem das espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*; e

Quantificar a incidência de defeitos gerados pela secagem em função da espessura da madeira para as espécies de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

2.1.1 Produção das tábuas e lamelas

Para a secagem das madeiras de pinus tropicais em câmara convencional os blocos com as dimensões nominais de 120; 165; 198 x 84 x 1200 mm (largura x espessura x comprimento) foram resserrados em serras circulares geminadas de dois eixos, transformando em tábuas com dimensões nominais de 84 x 40 x 1200 mm (largura x espessura x comprimento) e lamelas com dimensões nominais de 84 x 5 x 1200 mm (largura x espessura x comprimento), conforme Figura 2.2.

FIGURA 2.2 – RESSERRAGEM DOS BLOCOS DE 84 mm DE ESPESSURA (A), DAS TÁBUAS DE 40 mm DE ESPESSURA (B) E DAS LAMELAS DE 5 mm DE ESPESSURA.



FONTE: O autor (2019).

2.2 PRÉ-SECAGEM E IMPREGNAÇÃO DA MADEIRA

2.2.1 Pré-secagem em câmara convencional

As lamelas de 5 mm de espessura e as tábuas de 40 mm de espessura, tiveram uma etapa de secagem até o ponto de saturação das fibras - PSF em uma câmara convencional de secagem industrial, instalada nas dependências da A.W. Faber-Castell, localizada no município de Prata-MG e posteriormente foram impregnadas com soluções a base de ácidos graxos em uma autoclave industrial para melhorar as características de apontabilidade do lápis.

A pré-secagem procedeu-se em um equipamento da marca Contraco, com dimensão nominal útil de 4,80 x 4,0 x 13,0 m (largura x altura x comprimento), tendo espaço útil de 249,6 m³, totalizando uma capacidade de 120 m³ de madeira serrada.

O aquecimento ocorre por um conjunto de dez trocadores de calor a vapor (radiadores), localizados na parte superior do equipamento dispostos na frente e atrás dos ventiladores. O sistema de circulação de ar é realizado por circulação forçada, no qual, ocorre por um conjunto de 10 ventiladores com diâmetro das hélices de 960 mm acoplada diretamente no eixo do motor de 5,0 cv com rotação de 1140 rpm.

A umidade relativa da câmara é controlada pelo sistema de água quente a 60 °C e por um conjunto de “*dumpers*” localizados na parte superior da câmara de secagem, sendo um de entrada e outro de saída de ar para cada ventilador (FIGURA 2.3).

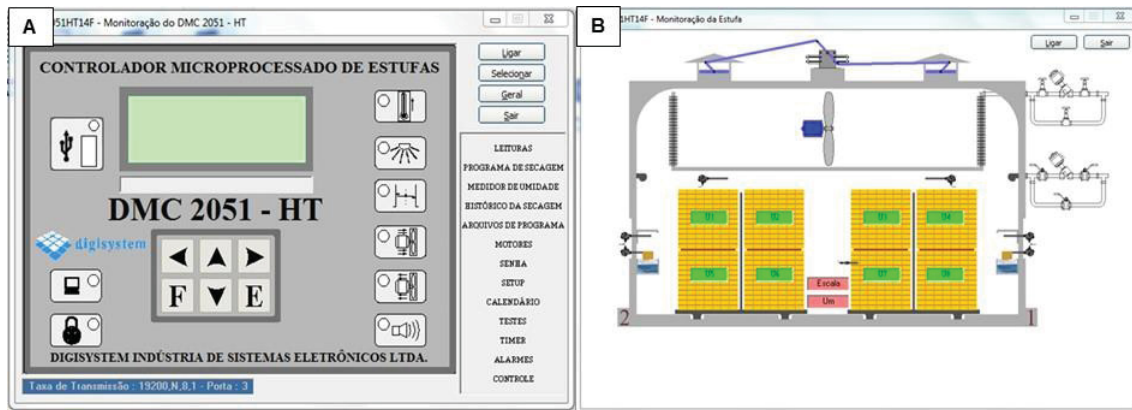
FIGURA 2.3 – CÂMARA DE SECAGEM (A), TROCADOR DE CALOR (B), SISTEMA DE VENTILAÇÃO (C).



FONTE: O autor (2019)

Para a supervisão da secagem, a câmara é dotada de um sistema de gerenciamento automatizado que permite monitorar, controlar e modificar as variáveis relevantes ao processo de secagem, como as temperaturas de bulbo seco e úmido, a umidade relativa e a perda de umidade das madeiras (FIGURA 2.4).

FIGURA 2.4 – SOFTWARE GERENCIADOR DA CÂMARA DE PRÉ-SECAGEM (A) E MONITORAMENTO DA PRÉ-SECAGEM (B).



FONTE: O autor (2019).

O empilhamento da câmara de pré-secagem, ocorre por empilhadeira, sendo alocados 144 pacotes devidamente tabicados, dispostas no sentido transversal ao fluxo de ar e com pesos de concreto de 450 kg.m⁻² com o intuito de manter a estabilidade e restrição mecânica da madeira (FIGURA 2.5).

FIGURA 2.5 – EMPILHAMENTO DA MADEIRA PARA A PRÉ-SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL.



FONTE: O autor (2019).

2.2.2 Programa utilizado para a pré-secagem

O programa de secagem utilizado para pré-secagem das madeiras de pinus tropicais em câmara convencional foi utilizado como parâmetro o temperatura-tempo (TABELA 2.10).

TABELA 2.10 - PROGRAMA PARA A PRÉ-SECAGEM

Fase da secagem	Temperatura (°C)		Umidade (%)		Tempo (minutos)
	TBS	TBU	Relativa	Equilíbrio	
Aquecimento	62	62	100	-	180
Fase 1	62	59	87	16,0	240
Fase 2	65	60	76	12,0	420
Fase 3	65	56	63	9,0	300
Fase 4	68	55	51	7,0	180
Fase 5	68	48	34	5,0	300
Fase 6	71	47	27	4,0	240
Fase 7	73	44	20	3,5	180
Fase 8	75	45	18	3,0	300
Resfriamento	45	43	88	-	120

TBS: temperatura bulbo seco; TBU: temperatura bulbo úmido.

A velocidade de circulação do ar padrão para pré-secagem em câmara convencional é de $3,0 \text{ m.s}^{-1}$ na saída da pilha, em função das características construtivas do equipamento.

Após a pré-secagem, foram retiradas 50 amostras para cada espécie de pinus tropical avaliada para a determinação do teor de umidade. Para determinação da umidade final foi utilizado o método gravimétrico conforme *Comisión Panamericana de Normas Técnicas* - COPANT 460 (1972).

Para a impregnação das madeiras de pinus tropicais, que tem por objetivo proporcionar o conforto ao apontar o lápis, foi realizado em uma autoclave industrial pelo método de célula cheia (Bethell). Após a impregnação todos os tratamentos foram armazenados em câmara fria com o intuito de minimizar o deslocamento de fluido de forma natural, tanto para as lamelas quanto para as tábuas. A baixa temperatura de armazenamento também propiciou a não proliferação de organismos xilófagos (fungos embolorados e manchadores) e a perda de umidade inicial das madeiras. Milota; Tschernitz (1990); Simpson

(1997); Klitzke (2002) e Loiola (2015) utilizaram esta técnica e descrevem resultados satisfatórios em suas pesquisas.

2.3 SECAGEM COMPLETA DAS MADEIRAS DE PINUS TROPICAIS

Para a secagem completa da madeira foi utilizada uma câmara convencional de secagem (piloto), instalada nas dependências do Laboratório de Secagem da Madeira, pertencente à Universidade Federal do Paraná – UFPR, localizada no município de Curitiba-PR.

2.3.1 Características do equipamento utilizado para a secagem completa

O equipamento utilizado da marca Kiefer tem dimensão nominal útil de 0,80 x 0,80 x 4,00 m (largura x altura x comprimento), totalizando uma capacidade de 1 m³ de madeira serrada. O aquecimento ocorre por sistema elétrico realizado por três resistências blindadas (trocadores de calor) e dotada de circulação forçada de ar, no qual, ocorre por um ventilador do tipo axial com produção de 3600 m³.h⁻¹.

A umidade relativa da câmara é controlada pelo sistema de vaporização, sendo gerado por uma caldeira elétrica com capacidade de produção de vapor de 40 kg.h⁻¹ e por um conjunto de “*dumpers*” localizados nas extremidades da câmara de secagem, sendo um de entrada e outro de saída de ar (FIGURA 2.6).

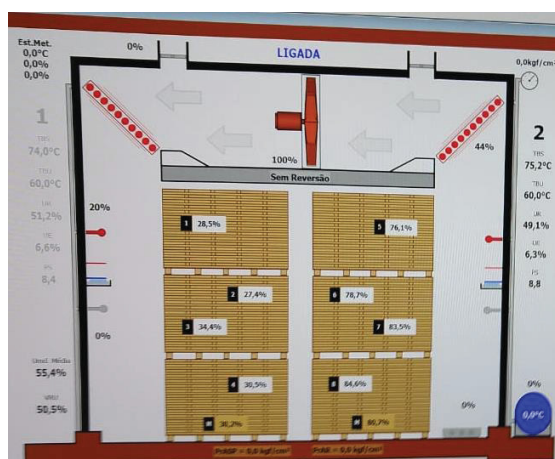
FIGURA 2.6 – CÂMARA DE SECAGEM (A), CALDEIRA ELÉTRICA (B), CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (C), *DUMPER* FRONTAL PARA ENTRADA DE AR (D), *DUMPER* PARA SAÍDA DE AR (E).



FONTE: O autor (2019).

Para a supervisão da secagem, a câmara é dotada de um sistema de gerenciamento automatizado que permite monitorar, controlar e modificar as variáveis relevantes ao processo de secagem, como a velocidade de circulação do ar, as temperaturas de bulbo seco e úmido, a umidade relativa e a perda de umidade das madeiras (FIGURA 2.7).

FIGURA 2.7 – SUPERVISÃO DA SECAGEM.



Fonte: O autor (2019).

A medição da umidade das madeiras ocorre por oito pares de pinos sensores (quatro longos e quatro curtos) totalizando 16 pinos, os quais possuem o princípio de funcionamento resistivo. Os pinos foram introduzidos na madeira a 1/2 da espessura (pino longo) e a 1/4 da espessura (pino curto) do material a

ser seco, no sentido perpendicular à grã distantes 25 mm entre si, visando medir o gradiente de umidade durante o processo de secagem (FIGURA 2.8).

FIGURA 2.8 – ILUSTRAÇÃO DOS PINOS SENSORES NA MADEIRA



FONTE: O autor (2019).

2.3.2 Tratamentos avaliados para a secagem da madeira

Para a secagem da madeira em câmara convencional foram utilizadas lamelas com dimensões nominais de 84 x 5 x 1200 mm (largura x espessura x comprimento) e tábuas com dimensões nominais de 84 x 40 x 1200 mm (largura x espessura x comprimento), as quais, tiveram seus comprimentos reduzidos para 750 mm, em função da estufa de secagem piloto. Foram retiradas amostras de 25 mm em cada extremidade das lamelas e das tábuas para determinação do teor de umidade inicial.

Para a secagem das lamelas de 5 mm de espessura, estas foram sobrepostas em oito lamelas, totalizando 784 lamelas ($0,2470 \text{ m}^3$) para cada ciclo de secagem. Já a secagem das tábuas de 40 mm de espessura foi utilizada 84 amostras ($0,2117 \text{ m}^3$) para cada ciclo de secagem. A secagem de cada tratamento foi conduzida de forma individual, totalizando seis tratamentos avaliados (TABELA 2.11).

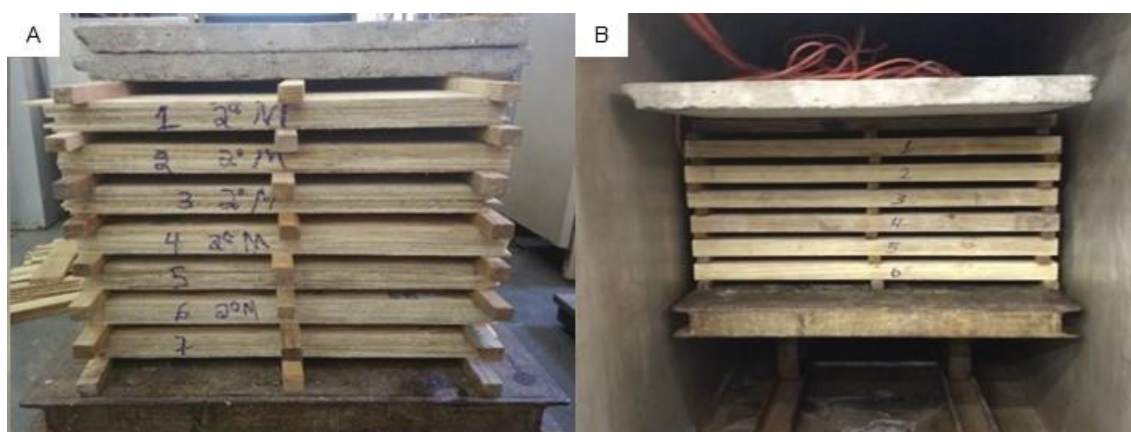
TABELA 2.11 - TRATAMENTOS AVALIADOS PARA A SECAGEM DAS TÁBUAS E DAS LAMELAS EM CÂMARA CONVENCIONAL DE SECAGEM.

Espécie	Espessura (mm)	Idade (anos)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	5	14
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	5	25
<i>Pinus oocarpa</i>	5	35
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	40	14
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	40	25
<i>Pinus oocarpa</i>	40	35

2.3.3 Empilhamento da madeira

Para o empilhamento da madeira no vagonete da câmara de secagem, as lamelas e as tábuas foram dispostas no sentido transversal ao fluxo de ar da câmara de secagem, alocadas sobre o vagonete e separadas por tabiques de seção quadrada de 20 e 1100 mm de comprimento (FIGURA 2.9).

FIGURA 2.9 – EMPILHAMENTO DAS LAMELAS DE 5 mm DE ESPESSURA (A) E EMPILHAMENTO DAS TÁBUAS DE 40 mm DE ESPESSURA (B).



FONTE: O autor (2019).

A fim de verificar a perda de umidade, bem como, as variações dimensionais em largura e espessura ao longo do ciclo de secagem, suas massas e dimensões foram aferidas no início e após a secagem. Para o controle gravimétrico da perda de umidade foram tomadas as medidas de todas as peças localizadas na última camada do pacote ao longo de todo o período da secagem. Para o monitoramento da variação dimensional foram realizadas medições com

paquímetro digital (0,01 mm de precisão), sendo aferidas a 50 mm das extremidades das peças.

2.3.4 Programa utilizado para a secagem das lamelas e das tábuas

O programa de secagem utilizado para as madeiras de pinus tropicais na secagem convencional foi utilizado como parâmetro o temperatura-tempo-umidade (TABELA 2.12).

TABELA 2.12 - PROGRAMA DE SECAGEM ELABORADO

Umidade da madeira (%)	Temperatura (°C)		Umidade (%)		Tempo (horas)	Potencial secagem
	TBS	TBU	Relativa	Equilíbrio		
Aquecimento	70	70	100	-		-
-	70	67	86	15	300	-
-	72	65	71	10	240	-
-	74	64	62	8	300	-
-	76	63	54	7	360	-
-	78	59	41	5	420	-
25	80	56	32	4	480	6,0
20	82	53	24	3,5	720	5,7
17	84	50	20	2,7	-	6,3
13	86	46	15	2,2	-	6,0
10	87	43	11	1,8	-	5,5
08	88	41	8	1,5	-	5,3
Condicionamento	86	74	60	8,0	300	1,0
Resfriamento	45	34	48	8,0	120	-

TBS: temperatura bulbo seco; TBU: temperatura bulbo úmido.

Foi utilizada velocidade de circulação do ar padrão para secagem em câmara convencional de $3,5 \text{ m.s}^{-1}$ na saída da pilha, como descrito em diversos manuais de secagem de madeiras de coníferas (HILDEBRAND, 1970; SIAU, 1984; SIMPSON, 1991).

2.4 AVALIAÇÃO DA SECAGEM DAS LAMELAS E TÁBUAS

A avaliação da secagem das lamelas e das tábuas em câmara convencional foi realizada de acordo com a taxa de secagem, umidade final, rachaduras, empenamentos e contração da madeira.

A avaliação do empenamento foi realizada em peças com dimensões nominais de 84,0 x 5,0 x 182,4 mm (largura x espessura x comprimento), sendo estas denominadas de “tabuinhas”. O processo de fabricação do lápis, ocorre por meio da colagem de duas “tabuinhas” e o empenamento delas é uma das principais avaliações de qualidade da secagem.

Para a transformação das lamelas de 5 mm de espessura em tabuinhas, estas foram destopadas no comprimento de 182,4 mm. Já para as tábuas de 40 mm de espessura em “tabuinhas”, estas primeiramente, foram transformadas em lamelas com 5 mm de espessura, em serras circulares geminadas de dois eixos e posteriormente destopadas também no comprimento de 182,4 mm (FIGURA 2.10).

FIGURA 2.10 – ALIMENTAÇÃO DA MÁQUINA DE DESTOPO (A) E TRANSFORMAÇÃO DAS LAMELAS EM “TABUINHAS” (B).



FONTE: O autor (2019).

2.4.1 Taxa de secagem e umidade final

A análise da taxa de secagem foi realizada em função da perda de umidade (TABELA 2.13) com o tempo decorrido (horas) no intervalo expresso em porcentagem de umidade por hora ($\%U \cdot h^{-1}$). Para tanto, utilizaram-se os dados obtidos pelos conjuntos de pinos sensores e as amostras controle (gravimétrico) para estimar a umidade das madeiras para o cálculo da taxa de

secagem, de acordo com as recomendações de Simpson (1991). Foi quantificada a taxa de secagem para a perda de água capilar ($U > \text{PSF}\%$), higroscópica ($U < \text{PSF}\%$) e a capilar e higroscópica respectivamente ($\text{PSF}\% < U < \text{PSF}\%$).

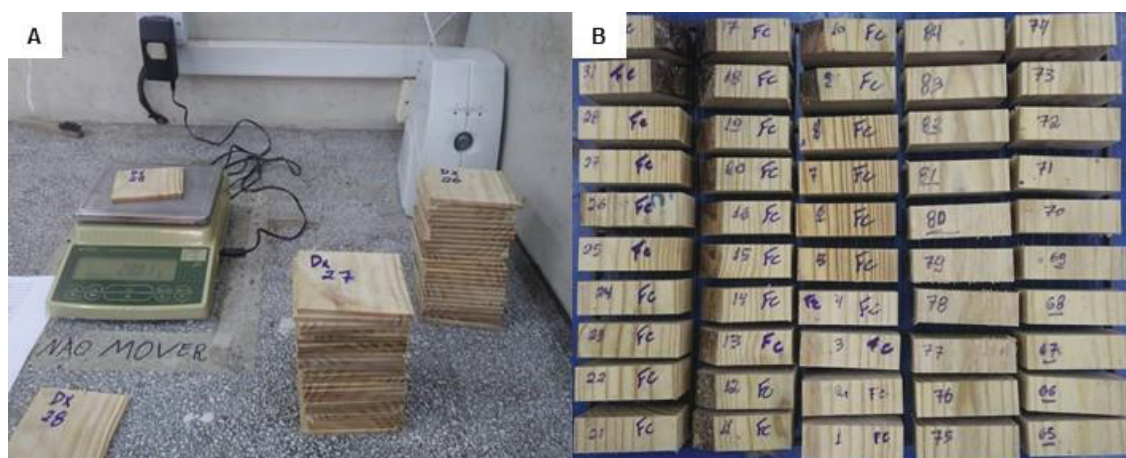
TABELA 2.13- FAIXA TEOR DE UMIDADE PARA O CÁLCULO DA TAXA DE SECAGEM

Faixa de teor de umidade			
1	verde	até	28%
2	28%	até	10%
3	verde	até	8%

Para a avaliação da umidade final, utilizou-se a metodologia proposta por Simpson (1991) para a confecção dos corpos de provas. A determinação da umidade final foi pelo método gravimétrico conforme *Comisión Panamericana de Normas Técnicas* - COPANT 460 (1972).

A determinação da umidade final para a secagem das lamelas de 5 mm de espessura, foram selecionadas de forma aleatória 60 lamelas por tratamento avaliado, totalizando 180 repetições. Já a secagem das tábuas de 40 mm de espessura, foram amostradas 50 peças aleatórias de cada tratamento avaliado, totalizando 150 amostras (FIGURA 2.11).

FIGURA 2.11 - CORPO DE PROVA PARA A SECAGEM DAS LAMELAS DE 5 mm DE ESPESSURA (A) E CORPO DE PROVA PARA A SECAGEM DAS TÁBUAS DE 40 mm DE ESPESSURA.



FONTE: O autor (2019).

2.4.2 Contração de secagem das lamelas e das tábuas

Para verificar o efeito da secagem na contração em largura e espessura das peças considerou-se a madeira verde até o teor de umidade final desejado de 8%, conforme a Equação 2.1.

$$\text{Contração (\%)} = \frac{D_v - D_s}{D_v} * 100 \quad (2.1)$$

Onde:

D_v = Dimensão em largura ou espessura verde [mm];

D_s = Dimensão em largura ou espessura seca a 8% [mm].

EQUAÇÃO 2.1 - Contração das madeiras para a secagem em câmara convencional

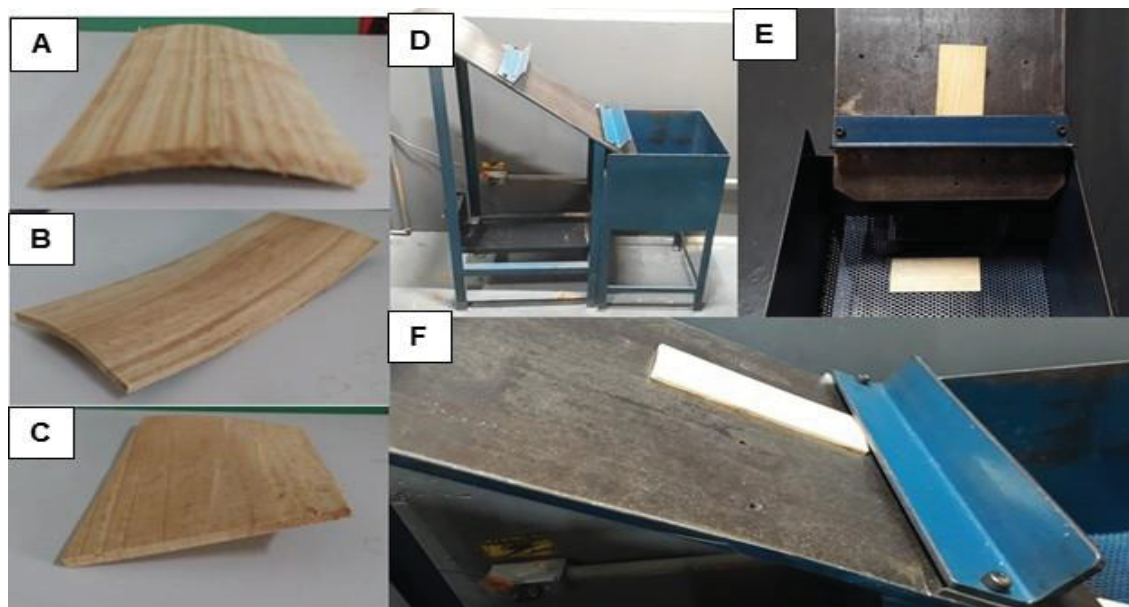
Para esta situação, a dimensão seca das peças se refere ao teor de umidade final (8%) para cada tratamento avaliado. Para a secagem das lamelas de 5 mm de espessura, avaliaram-se 168 repetições para cada tratamento, totalizando 504 amostras. Já para a secagem das tábuas de 40 mm de espessura, avaliaram-se 84 peças, totalizando 252 amostras.

2.4.3 Rachaduras e empenamentos das lamelas e das tábuas

As rachaduras foram classificadas de superfície e de topo. Quando presentes, estas tinham seus comprimentos obtidos em milímetros, com um paquímetro, sendo os dados apresentados na forma de mm.m^{-1} , em porcentagem do número de peças que apresentaram o defeito em relação a amostragem total.

A quantificação e qualificação dos empenamentos, os quais, compreenderam o encurvamento e o encanoamento, foram avaliados em uma mesa com vão gabaritado em 6,5 mm para a passagem das amostras (FIGURA 2.12). As amostras que ficavam retidas no limite superior do gabarito, foram classificadas como empenadas. A avaliação decorreu por um período de 60 dias, sendo quantificado o percentual de peças empenadas semanalmente em cada tratamento avaliado, totalizando 296 amostras para cada tratamento avaliado.

FIGURA 2.12 – EMPENAMENTOS AVALIADOS DE ENCANOAMENTO (A), ENCURVAMENTO (B), TORCIMENTO COMPLEXO (C) E O GABARITO UTILIZADO PARA A MENSURAÇÃO, VISTA LATERAL (D), VISTA FRONTAL (E) E DETALHE DO VÃO (F).



FONTE: O AUTOR (2019).

2.5 ANÁLISE E ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para a análise e avaliação dos resultados das secagens das lamelas de 5 mm e das tábuas de 40 mm de espessura das madeiras de pinus tropicais, foi empregado um delineamento inteiramente casualizado. Para a análise e avaliação dos resultados foram utilizados planilha eletrônica e programas estatísticos.

Para os fatores e interação detectados como significativos pelo teste F ($p \leq 0,05$), foi empregado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), sendo primeiramente realizado testes de normalidade dos dados e o teste de homogeneidade das variâncias de Bartlett entre os tratamentos (RIBEIRO JUNIOR, 2001).

Quando da necessidade para homogeneizar as variâncias, os dados foram transformados em $\arcsen[\text{raiz}(\text{perda de massa}/100)]$ como recomendado por Steel; Torrie (1988). Com intuito de ilustrar a relação entre as variáveis envolvidas, procedeu-se uma análise de regressão, ao selecionar o modelo que apresentou o melhor ajuste, ao considerar o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da estimativa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 AVALIAÇÃO DA PRÉ-SECAGEM DAS LAMELAS E TÁBUAS

Na Tabela 2.14, contam os resultados do teor de umidade final para a pré-secagem das espécies estudadas. Nota-se que a remoção da água capilar para as lamelas de 5 mm de espessura, a espécie *Pinus oocarpa*, foi estatisticamente diferente das demais espécies estudadas, tendo o teor de umidade em média 23% maior que as demais espécies de *Pinus caribaea* (var. *caribaea* e var. *hondurensis*, respectivamente).

Observa-se os coeficientes de variação obtidos para a metodologia de pré-secagem das lamelas de forma sobrepostas, sendo a espécie de *Pinus caribaea* var. *caribaea* com a maior dispersão de umidade entre as espécies estudadas. Para esta variedade de *pinus* tropical, houve lamelas com teores de umidades mínimo de 13% e máximo de 37%.

TABELA 2.14 - TEOR DE UMIDADE FINAL PARA A PRÉ-SECAGEM DAS LAMELAS E TÁBUAS DE *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *hondurensis* E *P. oocarpa*

Espécie	Espessura da madeira	TUf (%)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	5 mm	25,70 b	6,69	26,01
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	5 mm	25,61 b	4,87	19,04
<i>Pinus oocarpa</i>	5 mm	33,59 a	6,42	19,11
Fator de significância		31,01*	-	-
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	40 mm	27,18 a	1,46	5,39
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	40 mm	27,52 ab	1,31	4,77
<i>Pinus oocarpa</i>	40 mm	28,06 b	1,01	3,62
Fator de significância		6,36*	-	-

TUf: teor de umidade final. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si (Tukey, $p > 0,05$).

Já a dispersão de umidade para as espécies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*, foi obtido valor mínimo de umidade de 16% e máximo de 39% e 45%, respectivamente.

Os resultados obtidos para a pré-secagem das tábuas de 40 mm de espessura, observa-se a homogeneidade do teor de umidade final entre as espécies estudadas. Apesar da média das umidades obtidas serem superiores as umidades das lamelas (exceto o *Pinus oocarpa*), todos os resultados se encontram em conformidade com a especificação (remoção da água capilar). Ao analisar os valores de umidade, as espécies de *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, tiveram umidade mínima de 21%, enquanto o *Pinus oocarpa* de 25%. Enquanto o maior teor de umidade foi de 30%, respectivamente para a espécie de *Pinus oocarpa*.

A pré-secagem tem como finalidade, a remoção da água capilar para posterior impregnação da parede celular com ácidos graxos, que tem por objetivo, proporcionar a sensação de conforto ao apontar o lápis (redução do torque). Portanto, a qualidade da pré-secagem é uma etapa no processo fabril é importante para que a penetração, distribuição e retenção da solução de impregnação ocorra conforme o esperado em todo o material lenhoso da madeira. Madeiras com teor de umidade muito abaixo do ponto de saturação das fibras - PSF consequentemente, absorvem maior volume de solução e maiores os custos industriais.

Essa maior retenção de ácidos graxos na parede celular da madeira, não é proporcional a maior facilidade em apontar o lápis, além do mais, retenções elevadas de solução, tem como consequência a delaminação da linha de cola na etapa de colagem, portanto, existe uma proporção de retenção ótima para a fabricação do lápis.

Já madeiras que após a pré-secagem, possuem dispersão de umidade elevada, além de não proporcionar a retenção de solução conforme a especificação para o produto, a madeira ainda pode conter bolsões de umidades, que afeta a penetração e distribuição da solução no interior da madeira (LOPES et al., 2017).

3.2 AVALIAÇÃO DA SECAGEM COMPLETA DAS LAMELAS E TÁBUAS EM CÂMARA CONVENCIONAL

3.2.1 Umidade inicial, umidade final e tempo de secagem das lamelas e das tábuas em câmara convencional de secagem

Para a secagem das lamelas de 5 mm espessura, observa-se que os valores de umidade inicial das madeiras estudadas apresentaram diferenças estatísticas. A madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* teve o maior teor de umidade inicial, enquanto a madeira de *Pinus oocarpa* iniciou a secagem com o menor teor de umidade (TABELA 2.15).

TABELA 2.15 - TEOR DE UMIDADE INICIAL, TEOR DE UMIDADE FINAL E TEMPO LÍQUIDO DE SECAGEM PARA AS LAMELAS E TÁBUAS DE *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *hondurensis* E *P. oocarpa*

Espécie	Espessura da madeira (mm)	TUi (%)	TUf (%)	Tempo (horas)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	5	171,31 c (0,24)	9,43 b (0,74)	66,63
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	5	145,66 b (0,16)	10,74 c (3,36)	61,77
<i>Pinus oocarpa</i>	5	110,71 a (0,15)	6,78 a (1,53)	66,72
Fator de significância		158,21*	51,50*	-
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	40	99,56 b (34,13)	7,67 a (0,42)	69,55
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	40	110,27 c (16,72)	8,14 b (0,54)	61,62
<i>Pinus oocarpa</i>	40	87,75 a (16,36)	8,32 b (0,70)	65,98
Fator de significância		18,68*	18,06*	-

TUi: teor de umidade inicial; TUf: teor de umidade final. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si (Tukey, $p > 0,05$).

Vale salientar que as madeiras de pinus tropicais destinadas a produção de lápis, foram impregnadas com solução aquosa a base de ácidos graxos em autoclave industrial pelo processo Bethell, portanto, as madeiras estavam com sua estrutura celular completamente saturada.

Em função da umidade inicial ser uma propriedade física diretamente relacionada com as características anatômicas da estrutura celular que compõe o lenho, a espessura da parede celular do traqueídeo limita o volume (proporcional) de água (livre e difusão) presente.

Esta relação é evidenciada ao avaliar o *Pinus oocarpa*, sendo a espécie com a maior massa específica básica ($0,502 \text{ g.cm}^{-3}$) e proveniente de plantios de 35 anos. Já as madeiras de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, são provenientes de maciços florestais jovens (14 anos), menor massa específica básica ($0,344 \text{ g.cm}^{-3}$), conseqüentemente maior absorção de água no processo de tratamento de impregnação.

Apesar das diferenças entre as umidades iniciais, a execução do programa de secagem inicia-se com a fase de aquecimento por período de cinco horas com 100% de umidade relativa (microclima saturado). Esta fase de aquecimento tem o objetivo de promover não somente o aquecimento das madeiras, mas também, minimizar a discrepância do teor de umidade inicial da madeira a ser seca. Portanto, as umidades iniciais referem-se às umidades das madeiras que compunham a carga e para o processo de secagem estas umidades foram elevadas pela fase de aquecimento para que não afetasse os valores de taxa de secagem.

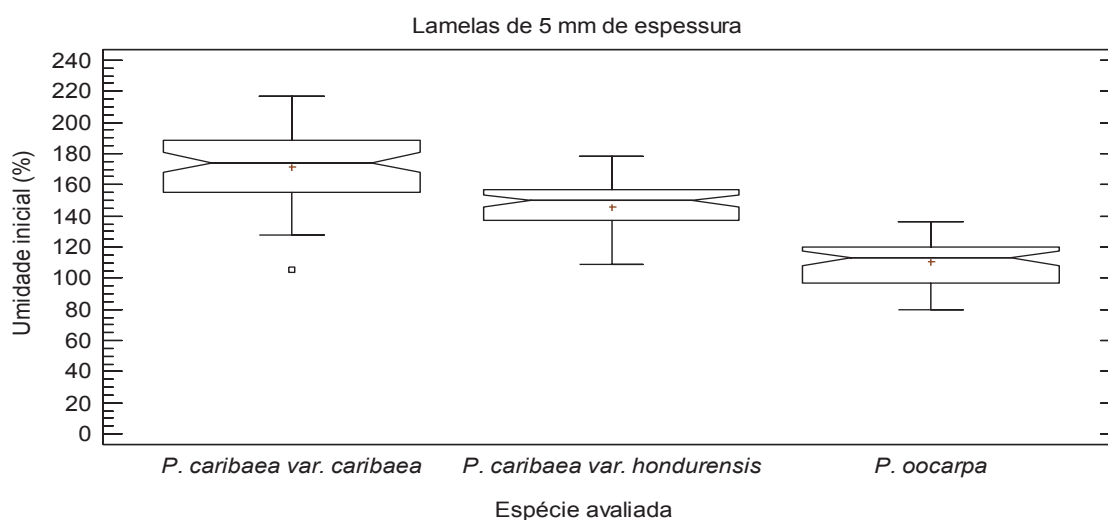
Ao avaliar a umidade inicial das tábuas de 40 mm de espessura, observa-se que os valores de umidade inicial das madeiras estudadas apresentaram diferenças estatísticas. As madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tiveram os maiores teores de umidade inicial, enquanto às madeiras de *Pinus oocarpa* iniciaram a secagem com os menores teores. Entretanto, o teor de umidade inicial das tábuas de 40 mm de espessura foi 41,88% inferior em comparação com as lamelas para a madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea*. Já para a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*, essa diferença corresponde a 24,30% e 20,74%, respectivamente.

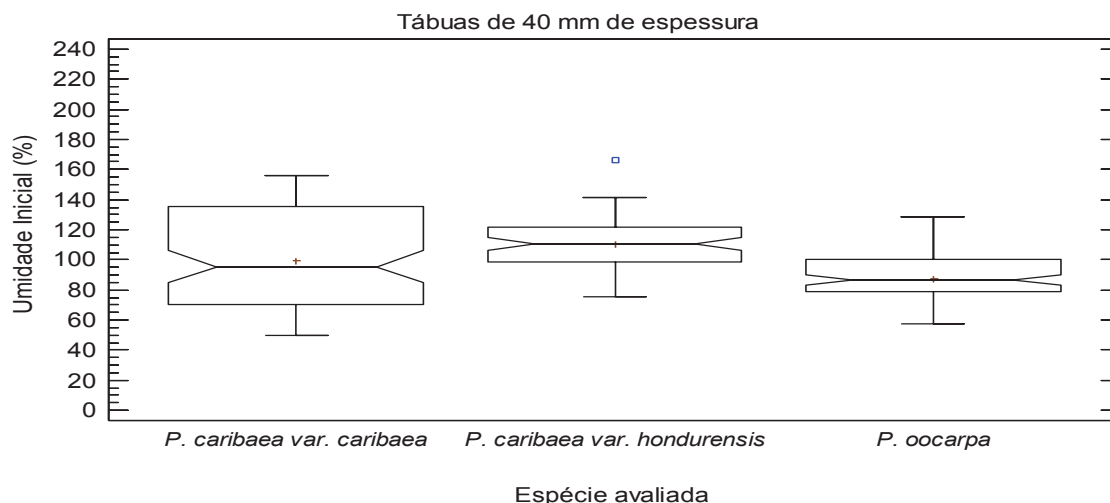
Diante dos resultados obtidos para o teor de umidade inicial, é notório a menor absorção de solução nas madeiras de pinus tropicais de maior espessura. Tal fato pode estar relacionado ao processo atual do setor de tratamento das madeiras da empresa, não sendo específico para peças com 40 mm de espessura.

A homogeneidade do teor de umidade da carga, é de fundamental importância para a condução e gerenciamento do processo de secagem, para que se obtenha uma secagem de forma uniforme entre as madeiras que compõe a carga a ser seca. Galvão; Jankowsky (1985) e Simpson (1991) ainda complementam que a velocidade de secagem de madeira serrada depende de vários fatores, dentre eles, o teor de umidade inicial e que grandes variações entre a umidade inicial da carga, aliado a fase de aquecimento, não sendo realizada de forma adequada, pode afetar o tempo de secagem e qualidade da madeira seca (uniformidade entre as madeiras que compõe a carga).

Tal fato, fica evidenciado ao avaliar de forma gráfica (FIGURA 2.13) as umidades iniciais, com desvios padrões homogêneos, assim como as meridianas semelhantes. Não havendo, portanto, discrepâncias entre as umidades dentre as madeiras que compunham as cargas de secagem, exceto para a espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea*, em que foi constatado a maior heterogeneidade do teor de umidade inicial.

FIGURA 2.13 - VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE INICIAL DAS MADEIRAS DE PINUS TROPICAIS SUBMETIDA À SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL DE SECAGEM

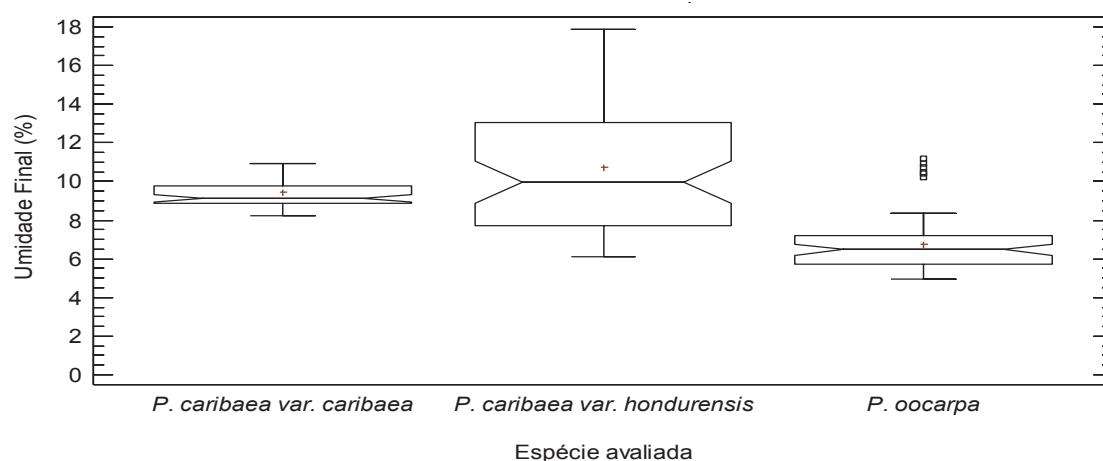




FONTE: O autor (2019).

Observa-se ainda na Tabela 2.14, que as lamelas de 5 mm de espessura tiveram teor médio de umidade final divergente ao estabelecido pelo programa de secagem (8%), nota-se ainda (FIGURA 2.14), a dispersão do teor de umidade final entre os dentre as espécies de pinus tropicais avaliados. O maior desvio padrão obtido foi para o *Pinus caribaea var. hondurensis* (3,36%) para a secagem da madeira de *Pinus caribaea var. hondurensis*, o que resultou em valor máximo de teor de umidade final de 17,89%.

FIGURA 2.14 - VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE FINAL DAS LAMELAS DE 5 mm DE ESPESSURA SUBMETIDA À SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL DE SECAGEM



FONTE: O autor (2019).

Já as espécies *P. caribaea* var. *caribaea* e *P. oocarpa*, tiveram menores desvios padrões (0,76 e 1,53) porém, ao se observar a cauda dos gráficos, nota-se teor de umidade máximo de 10,98% e 11,18%, respectivamente para as espécies de *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus oocarpa*.

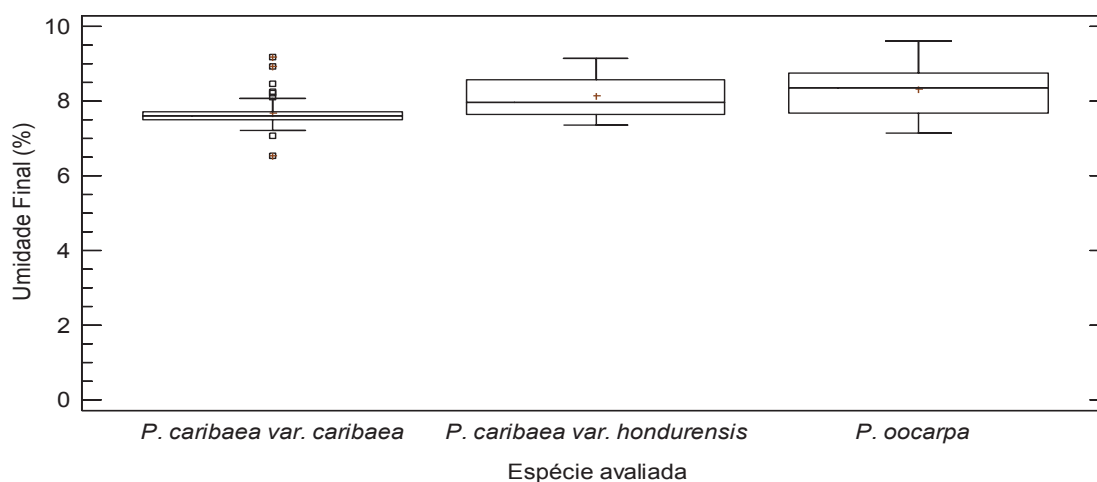
Esta variação do teor de umidade obtida nesta pesquisa pode estar relacionada à forma metodológica para o empilhamento das lamelas, sendo sobrepostas oito lamelas de 5 mm de espessura em cada camada da pilha a ser seca, resultando em lamelas muito secas (externas) e as dispostas nas regiões centrais ainda contendo umidade, destoando do programa de secagem para sua finalização.

Em se tratando de manufatura para a produção de lápis, esta variação do teor de umidade entre as lamelas, são propensos a incidência de defeitos de arrepiamentos de grã no processo de usinagem (GONÇALVES, 2000; AGUILERA; MUÑOZ, 2011). Já no processo de colagem, a variação de umidade entre as peças a serem coladas, influenciam na formação da ligação adesiva que está diretamente relacionada com a quantidade e o ritmo de adsorção do adesivo na madeira, denominado de lápis com mina solta (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968). Marra (1992) ainda complementa que a colagem de madeiras com diferença de umidade acima de 5% proporciona tensões na linha de cola, fragilizando a colagem, além de aumentar a incidência de tortuosidade no produto acabado (lápis torto), em função das alterações dimensionais.

Já a secagem das tábuas de 40 mm de espessura, o teor de umidade final foi condizente com o programa de secagem elaborado, no entanto, madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* diferiu estatisticamente das demais espécies. A diferença entre o teor de umidade médio do *Pinus caribaea* var. *caribaea* com o *Pinus oocarpa* (espécie com maior umidade média) foi de 0,65%. Nota-se ainda a homogeneidade do teor de umidade final em todos os tratamentos avaliados, sendo obtido o maior desvio padrão máximo (0,70) para a secagem da madeira de *Pinus oocarpa*.

A variação no teor de umidade final (FIGURA 2.15) entre os tratamentos avaliados foi inferior a 1%, o que evidência a eficiência da utilização e da disposição das amostras de controle utilizadas para a condução e gerenciamento do processo de secagem.

FIGURA 2.15 - VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE FINAL DAS MADEIRAS DE 40 mm DE ESPESSURA SUBMETIDA À SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL DE SECAGEM

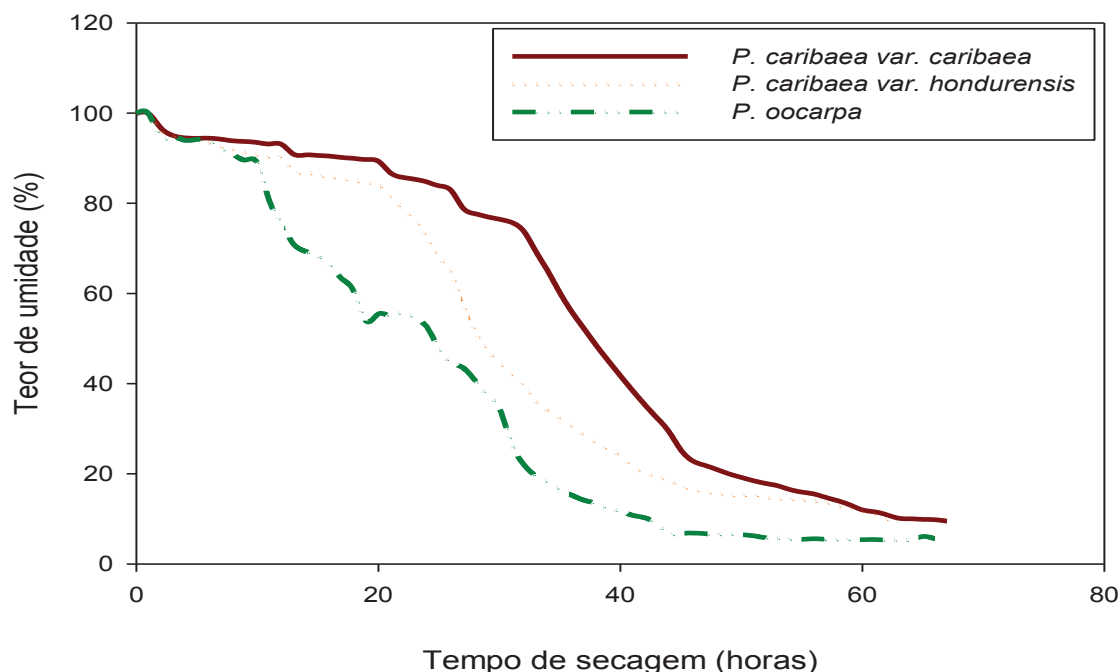


FONTE: O autor (2019).

Outro fator relacionado para que se obtenha esta homogeneidade na distribuição do teor de umidade é a etapa de uniformização aplicada após o final da secagem, que tem por finalidade contribuir para reduzir a variação no teor de umidade entre as peças que compõe a carga de madeira. Esta metodologia de secagem, também favorece a remoção das moléculas de água na superfície da madeira.

Para os tempos de secagem para as madeiras de 5 mm de espessura, observa-se a espécie *Pinus caribaea var. hondurensis*, teve o menor tempo de secagem dentre todas as espécies avaliadas. E a espécie de *Pinus oocarpa*, com o maior tempo respectivamente (TABELA 2.14, FIGURA 2.16).

FIGURA 2.16 - TEMPO DE SECAGEM PARA AS LAMELAS DE 5 MM DE ESPESSURA DAS MADEIRAS DE PINUS TROPICAIS SUBMETIDA À SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL

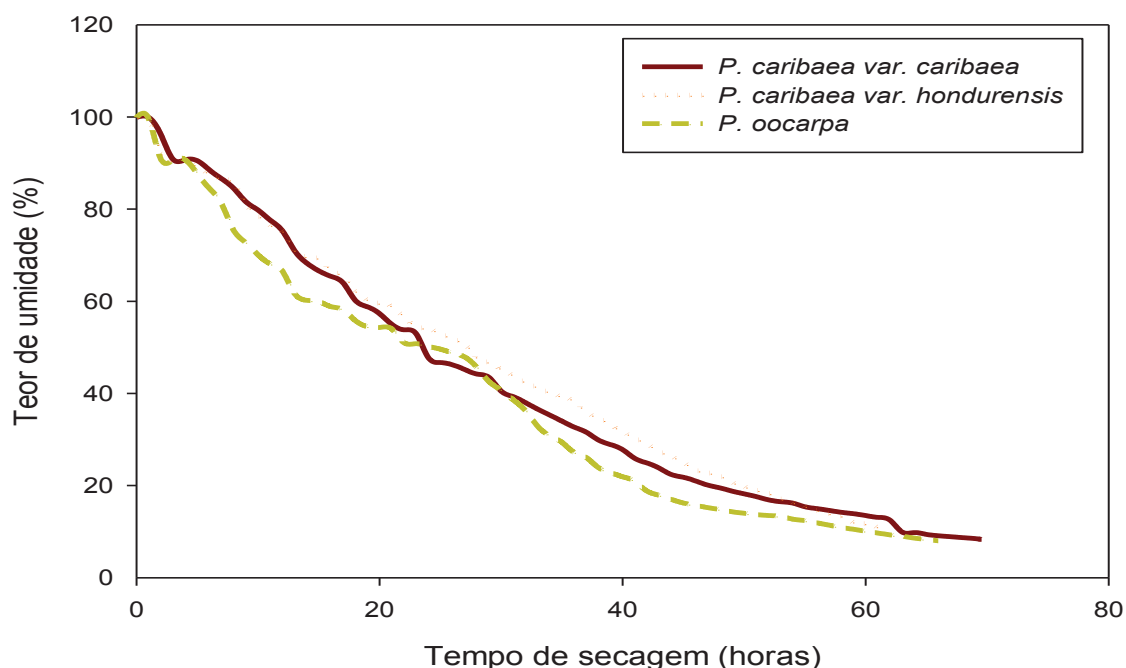


FONTE: O autor (2019).

O tempo dispendido para a remoção da água capilar exerce influência significativa no tempo total de secagem. E a massa de água líquida a ser removida também contribui de forma significativa no tempo total de secagem, sendo observado de forma mais proeminente a cinética de secagem do *Pinus oocarpa*. Com relação à metodologia de secagem das lamelas (sobreposição de oito lamelas), o gerenciamento da secagem por pinos sensor não foi a forma mais adequada para a condução da secagem, uma vez que as lamelas se lamelas separam e o ar seco ocasiona erros de leitura pelo sensor, promovendo interrupção ou até mesmo prolongando o ciclo de secagem de forma errônea.

Já o tempo de secagem para as tábuas de 40 mm de espessura, a espécie de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, finalizou o ciclo com o menor tempo, no entanto, o *Pinus caribaea* var. *caribaea*, teve o maior tempo de secagem dentre as espécies avaliadas (FIGURA 2.17).

FIGURA 2.17 - TEMPO DE SECAGEM PARA AS TÁBUAS DE 40 mm DE ESPESSURA DAS MADEIRAS DE PINUS TROPICAIS SUBMETIDA À SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL



FONTE: O AUTOR (2019).

Nota-se (FIGURA 2.17), que as cinéticas de secagem para as três espécies avaliadas são semelhantes. Este fato está relacionado à influência da estrutura anatômica no fluxo de fluido na madeira. Lepage (1986) elucida que o mecanismo do fluxo de fluidos na direção radial pode entrar pelas células de raios na superfície tangencial da madeira, fluir ao longo das células radiais por difusão, passando de uma a outra através da membrana das pontuações nas extremidades das células radiais. A partir das células radiais, os fluidos podem difundir-se através da membrana das pontuações semi-aureoladas (campo de cruzamento) e caminhar para o lúme dos traqueídeos longitudinais adjacentes.

Hansmann (2002) ressalta que a secagem rápida em madeiras do gênero *Pinus* é comum ocorrer aspiração das pontuações, principalmente nas regiões com parede celular de pequena espessura, baixa densidade e principalmente no lenho inicial. A aspiração da pontuação ocorre quando ainda existe água livre no lúme das células, a retirada dessa água causa uma pressão que é proporcional ao inverso do diâmetro capilar. Assim, a membrana da pontuação, composta pelo tórus e o margo, é pressionado no sentido de comprimi-la contra a auréola causando um fechamento da pontuação. Na junção

entre a membrana e a auréola, após a aspiração da pontuação, passam a atuar as forças de atração do tipo ligação de hidrogênio e forças de Wan der Waals.

3.2.2 Taxa de secagem das lamelas e das tábuas em câmara convencional de secagem

Para a secagem das lamelas de 5 mm espessura, observa-se que a taxa de secagem para remoção da água capilar (verde a 28%), assim como, para a água higroscópica (28% a 8%) não houve diferença estatística, para as madeiras avaliadas. Nota que a velocidade de secagem da água capilar para a espécie de *Pinus oocarpa* foi o dobro em relação a velocidade de remoção da água capilar da madeira de *P. caribaea* var. *caribaea* (TABELA 2.16).

TABELA 2.16 - TAXA SECAGEM DAS LAMELAS DE 5 mm DE ESPESSURA E DAS TÁBUAS DE 40 mm DE ESPESSURA EM FUNÇÃO DO TIPO DE REMOÇÃO DE ÁGUA

Espécie	Espessura da madeira (mm)	Taxa de secagem da madeira (%U.h ⁻¹)		
		Verde a 28%	28% a 8%	Verde a 8%
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	5	1,7960 (0,35)	0,9985 (0,50)	1,4021 a (0,13)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	5	2,1215 (0,35)	0,6929 (0,17)	1,4650 a (0,06)
<i>Pinus oocarpa</i>	5	3,6318 (1,69)	1,6129 (0,74)	2,5413 b (0,56)
Fator de significância		2,18 ^{ns}	2,62 ^{ns}	10,11*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	40	2,0034 (0,64)	0,7784 (0,12)	1,4801 (0,31)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	40	2,3159 (0,85)	0,7610 (0,24)	1,5094 (0,07)
<i>Pinus oocarpa</i>	40	2,3366 (0,91)	0,6359 (0,12)	1,4196 (0,08)
Fator de significância		0,16 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,17 ^{ns}

U: umidade; h: hora. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si (Tukey, $p > 0,05$).

A madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* é proveniente de maciços florestais jovens (14 anos) e durante o processo de secagem, pode ter ocorrido aspirações das pontoações, em função dos traqueídeos mais curtos e paredes celulares mais finas. Esse fato, pode elucidar os baixos valores de taxa de secagem, comparados aos valores obtidos para a madeira de *Pinus oocarpa*

cujo, plantio florestal é de aproximadamente 35 anos. A remoção da água capilar gera gradientes de umidade (SIAU, 1984; LUBE et al., 2013) e essas alterações no teor de umidade, podem ocasionar deformações que estão diretamente relacionadas a incidência de alguns defeitos inerentes a esta fase da secagem (ERICKSON, 1992).

Já a taxa de secagem para a remoção da água de difusão das lamelas de 5mm de espessura, também não há diferença estatística pelo teste de Fischer entre as espécies avaliadas. Nota-se que o fluxo de água capilar para as madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*, foi 2,5 vezes maior que o fenômeno físico de difusão. Enquanto, a espécie de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, a taxa de secagem capilar foi de 1,8 vezes comparado com a taxa de secagem de difusão.

Hart (1965) e Siau (1984) salientam que a transferência de massa na madeira abaixo do PSF ocorre uma vez que as moléculas de água se moverem através da parede celular por um gradiente de umidade e por gradiente de pressão de vapor, assim sucessivamente, até atingir a superfície da madeira. Em função da pequena espessura das lamelas (5 mm), o gradiente de umidade formado para o fluxo de fluido de difusão pode ter sido baixo, consequentemente, baixos valores de taxa de secagem.

Para a taxa de secagem média das lamelas, desde sua condição verde até 8% de umidade (água capilar e higroscópica), já se observa diferenças estatísticas entre as espécies avaliadas. Sendo a espécie de *Pinus oocarpa* estatisticamente diferente das demais variedades de *Pinus caribaea* avaliadas (*caribaea* e *hondurensis*).

A taxa de secagem média das madeiras é influenciada de forma mais proeminente pela velocidade de secagem da água capilar e, quanto maior a velocidade de remoção deste tipo de água, maior será a taxa de secagem média da madeira. Durante o processo de secagem da madeira em câmara convencional é observado três fases distintas (cinética da secagem), as quais, são caracterizadas pela predominância do fenômeno físico de transferência de calor e de massa que atua sobre a taxa de secagem (LOIOLA, 2015).

Ao avaliar a taxa de secagem para as tábuas de 40 mm de espessura, nota-se que não há diferença estatística para a remoção da água capilar (verde a 28%) entre as madeiras estudadas. A massa de água líquida removida para a

secagem das espécies estudadas foram de 104,93; 78,86 e 47,50 kg, respectivamente para as espécies de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*. Para efeito de elucidação, os tempos necessários para remoção da água capilar nas tábuas de 40 mm de espessura foram de 39,33; 42,70 e 35,80 horas, respectivamente para as madeiras de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*. Vale salientar que o volume de madeira seca para cada espécie foi de 0,2116 m³.

A compreensão da massa de água líquida a ser removida e da taxa de secagem capilar é de suma importância para o gerenciamento e condução da secagem, em função dos defeitos ocasionados nesta fase do processo. Diversos autores (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985; SIMPSON, 1991; KLITZKE, 2007) relataram os cuidados que devem ser tomados para a remoção da água capilar da madeira, principalmente no início do processo de secagem em que, a madeira se encontra suscetível à incidência de defeitos como colapsos e rachaduras de topo e de superfícies.

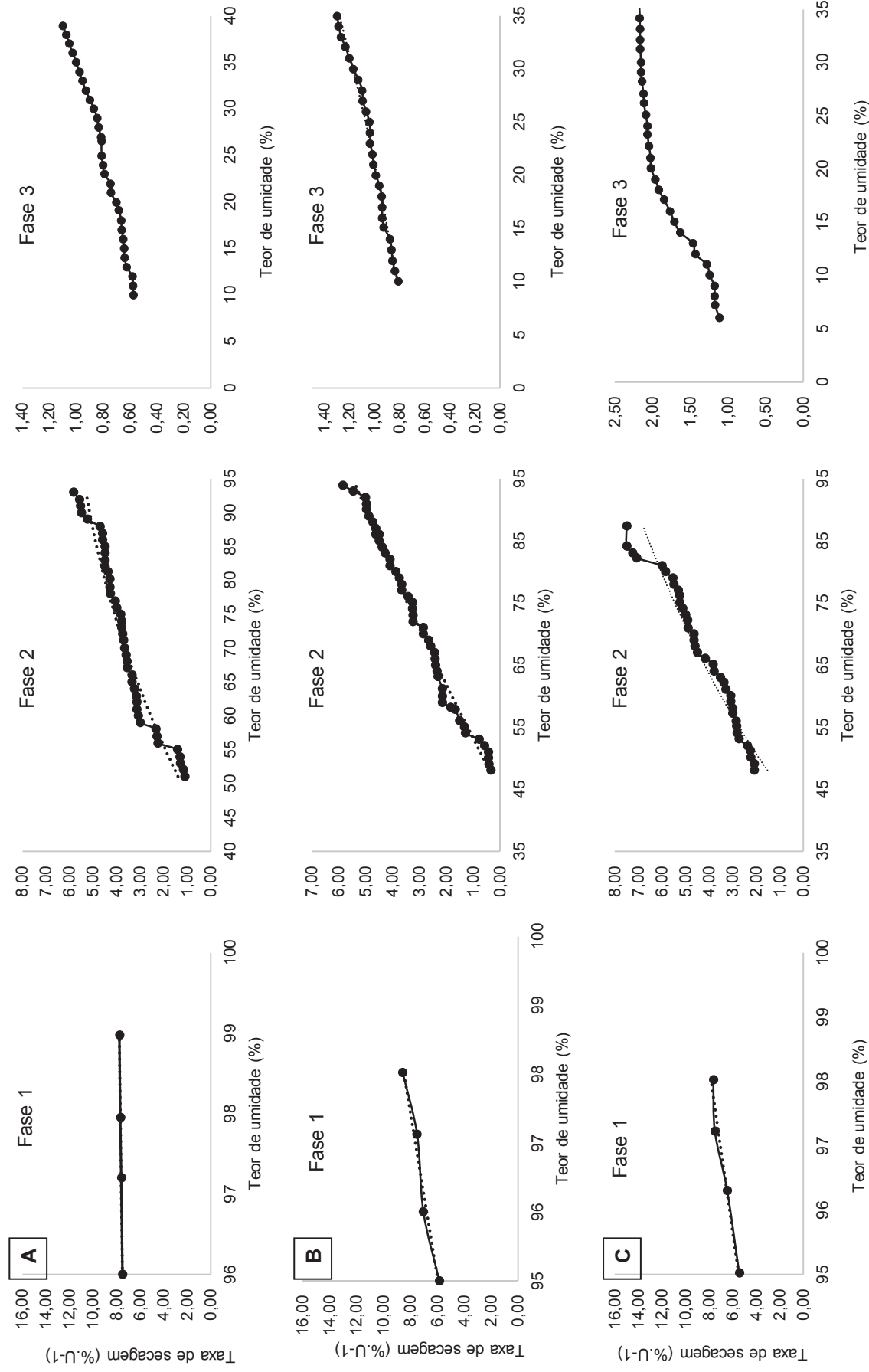
As ocorrências de colapso na madeira, em muitos casos, estão ligadas também a rachaduras internas (SANTINI; TOMASELLI, 1980), o que inviabiliza o processo de manufatura da matéria-prima para a produção de produtos de maior valor agregado. Já os defeitos de rachaduras (dependendo dos níveis) afetam diretamente o rendimento em madeira serrada seca e os custos operacionais.

O gerenciamento adequado desta fase da secagem, proporciona a formação do gradiente de umidade ao longo da espessura da madeira, tendo como consequência taxa de secagem adequada para a fase em função da transferência de massa ser constante no espaço e no tempo (SIAU, 1984).

A taxa de secagem para a remoção da água de difusão foi não significativa sendo, portanto, estatisticamente iguais entre todas as espécies estudadas. Nota-se que o fluxo da água capilar foi três vezes superior ao fenômeno físico de difusão, o qual é regido pela Segunda Lei de Fick e considerado como um fluxo em estado não constante (transitório), constituindo o fluxo e o gradiente de concentração variáveis no tempo e no espaço (SIAU, 1984). Nota-se que os valores obtidos de nesta fase, são inversamente proporcionais a massa específica básica da madeira.

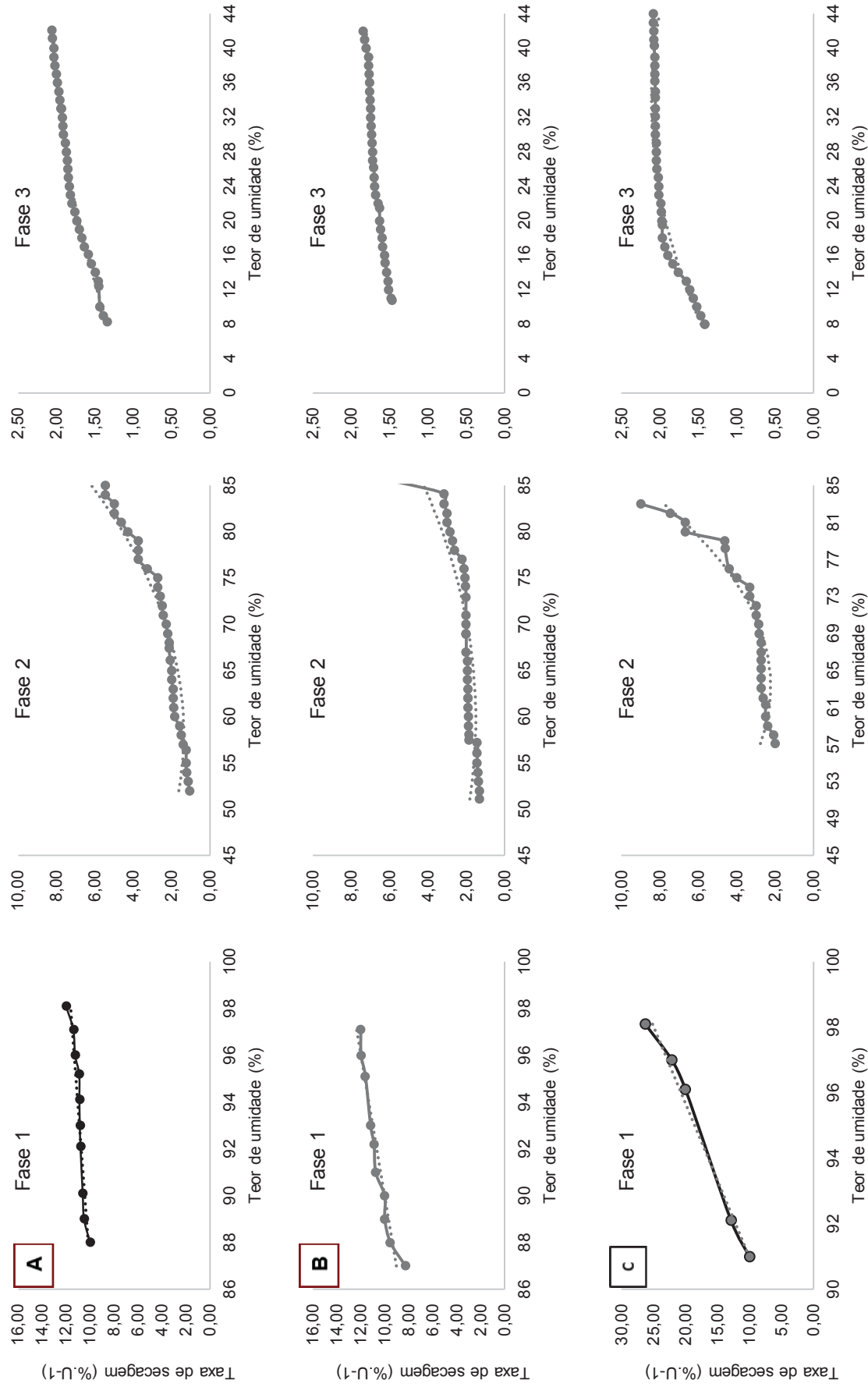
A taxa de secagem média da madeira, desde sua condição verde até 8% de umidade (água capilar e higroscópica), também não foi observada diferenças estatísticas entre as espécies estudadas. A taxa de secagem média das madeiras é influenciada de forma mais proeminente pela velocidade de secagem da água capilar e, quanto maior a velocidade de remoção deste tipo de água maior será a taxa de secagem média da madeira (LOIOLA, 2015). Simpson (1991) e Keey et al. (2000) relatam que no processo de secagem convencional pode-se observar três diferentes fases, a qual são caracterizadas pela variação na taxa de secagem, conforme ilustrado pelas figuras 2.18 e 2.19.

FIGURA 2.18 - TENDÊNCIA DA TAXA DE SECAGEM DAS LAMELAS DE 5 mm DE ESPESSURA PARA A MADEIRA RADIAL EM FUNÇÃO DA UMIDADE.



A: *Pinus caribaea* var. *caribaea*; B: *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; C: *Pinus oocarpa*.

FIGURA 2.19 - TENDÊNCIA DA TAXA DE SECAGEM DAS TÁBUAS DE 40 mm DE ESPESSURA PARA A MADEIRA EM FUNÇÃO DA UMIDADE.



A: *Pinus caribaea* var. *caribaea*; B: *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; C: *Pinus oocarpa*.

A fase linear (fase 1), a qual ocorre nas primeiras horas de secagem, quando a umidade da madeira ainda está acima do PSF. Para ciclos de secagem mantidos em condições climáticas severas (temperatura elevada e, ou umidades relativas baixas), em alguns casos a velocidade de secagem constante nem sempre é observada em função do curto espaço de tempo que subsiste, conforme relatado por Mellado (2007).

Tal observação é evidenciada tanto para a secagem das lamelas de 5 mm como para as tábuas de 40 mm de espessura, para a espécie de *Pinus oocarpa*, que teve duração de aproximadamente 1,85 e 1,93 horas, respectivamente. Já para as espécies de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, o tempo observado para esta fase foi de 2,28 e 2,72 horas (lamelas e tábuas, respectivamente). Enquanto a espécie de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, a fase linear foi respectivamente de 2,07 e 2,18 horas, para as lamelas e tábuas. Mellado (2007) ainda enfatiza que as camadas limites térmicas e mássicas são as que governam a transferência de calor e massa para esta fase da secagem.

A secagem parabólica (fase 2), inicia-se logo que a parede celular das camadas superficiais da madeira possui apenas água higroscópica (abaixo do PSF), enquanto a camada subsequente de madeira ainda contém água livre. Esta diferença de umidade entre a superfície da madeira e o centro da peça é denominada de gradiente de umidade e a transferência de massa ocorre por capilaridade e difusão simultaneamente (SIAU, 1984).

Esta fase é caracterizada por uma taxa de secagem decrescente, sendo evidenciado em todas as espécies estudadas. Observa-se que a taxa de secagem foi decrescente ao longo do tempo (redução do teor de umidade), o que caracteriza a predominância da transferência de massa por difusão à medida que a madeira vai se aproximando do PSF.

Na terceira fase da secagem (fase final), observa-se que a taxa de secagem ainda se mantém de forma decrescente e tende a zero, iniciando-se quando a transferência de massa ocorre predominantemente pelo fenômeno de difusão. O fluxo de fluido para esta fase, é considerado não constante, portanto, tanto para o movimento de deslocamento da água, quanto gradiente de concentração variáveis no tempo e no espaço. Siau (1984) complementa que a determinação da taxa de secagem sob condições controladas em um estado não constante (transitório), é o método que se obtém os melhores resultados,

obtendo correlações entre as determinações experimentais e os cálculos teóricos de forma satisfatória, sendo melhor elucidado pelos modelos matemáticos (TABELA 2.17).

TABELA 2.17 - MODELOS MATEMÁTICOS AJUSTADOS EM FUNÇÃO DA CINÉTICA DA SECAGEM.

Cinética da secagem	Modelos ajustados	R_{aj}^2 (%)	S_{yx} (%)	F
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> (lamelas 5 mm)				
Linear	$T_s = -0,948655 + 0,0880321 * \text{Umidade}$	99,68	0,07	625,92*
Parabólica	$T_s = 1/(0,788417 - 0,0000260625 * \text{Umidade}^2)$	94,46	1,19	732,71*
Exponencial	$T_s = \exp(-0,784443 + 0,0222699 * \text{Umidade})$	99,14	1,85	3245,04*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (lamelas 5 mm)				
Linear	$T_s = -73,7836 + 0,839256 * \text{Umidade}$	94,84	0,25	56,20*
Parabólica	$T_s = 1/(0,704956 - 0,0000301274 * \text{Umidade}^2)$	77,14	3,66	185,61*
Exponencial	$T_s = \exp(-0,376157 + 0,0178067 * \text{Umidade})$	98,49	1,68	1633,72*
<i>Pinus oocarpa</i> (lamelas 5 mm)				
Linear	$T_s = -68,7454 + 0,781193 * \text{Umidade}$	93,94	2,53	47,55*
Parabólica	$T_s = 1/(0,474962 - 0,0000102935 * \text{Umidade}^2)$	90,07	0,07	499,83*
Exponencial	$T_s = \exp(0,0673658 + 0,0245454 * \text{Umidade})$	83,53	9,92	153,12*
Cinética da secagem	Modelos ajustados para as tábuas de 40mm de espessura	R_{aj}^2 (%)	S_{yx} (%)	F
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> (tábuas 40 mm)				
Linear	$T_s = -0,343812 + 0,117662 * \text{Umidade}$	88,36	6,72	37,37*
Parabólica	$T_s = 1/(0,467001 - 0,0000084919 * \text{Umidade}^2)$	97,04	0,24	1246,27*
Exponencial	$T_s = \exp(0,827312 - 5,12308 / \text{Umidade})$	93,10	3,49	526,75*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (tábuas 40 mm)				
Linear	$T_s = -28,607 + 0,414281 * \text{Umidade}$	99,45	7,98	549,67*
Parabólica	$T_s = 1/(0,52661 - 0,0000151536 * \text{Umidade}^2)$	90,64	0,67	280,68*
Exponencial	$T_s = \exp(0,717337 - 4,15604 / \text{Umidade})$	85,08	3,56	268,12*
<i>Pinus oocarpa</i> (tábuas 40 mm)				
Linear	$T_s = -199,226 + 2,25866 * \text{Umidade}$	92,26	2,03	35,76*
Parabólica	$T_s = 1/(0,0366929 + 19,8196 * \text{Umidade}^2)$	92,61	1,83	539,43*
Exponencial	$T_s = \exp(0,852116 - 4,05061 / \text{Umidade})$	95,95	2,43	852,94*

Ts: taxa de secagem (%U.h⁻¹); exp: exponencial; R_{aj}^2 : coeficiente de determinação ajustado. S_{yx} : erro padrão da estimativa. F: fator de significância.

Observa-se que os modelos ajustados para a taxa de secagem das madeiras (TABELA 2.17), seguem a tendência como descrito por Siau (1984);

Galvão; Jankowsky (1985); Simpson (1991); Klitzke (2007); Mellado (2007). Em que na primeira fase da secagem a taxa tem um comportamento linear ($Y = a + b \cdot X$) com os coeficientes de determinação ajustados próximos a 90% e erro padrão da estimativa considerados baixos em função do fator de significância e do coeficiente de determinação ajustado. O maior erro padrão da estimativa obtido foi para a secagem das tábuas de 40 mm de espessura do *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

A segunda fase da secagem (fase parabólica) ocorre com a redução da taxa de secagem à medida que a madeira se aproxima do PSF, sendo os modelos ajustados correspondendo de forma satisfatória o comportamento da velocidade de secagem à medida que a madeira reduz o conteúdo de umidade. O modelo de regressão matemática que melhor ajusta para esta fase, foi a equação $Y = 1 / (a + b \cdot X^2)$. Ao avaliar o coeficiente de determinação ajustado, percebe-se valores compreendendo entre 77,14 a 97,04%, entretanto, o erro padrão da estimativa para o modelo ajustado são baixos, sendo a curva correspondente à secagem das lamelas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com o maior erro obtido (3,66%).

A medida que a umidade da madeira se aproxima do PSF, inicia-se a taxa de secagem com tendência exponencial [$Y = \exp(a + b \cdot X)$ ou $Y = \exp(a + b/X)$], tendo os modelos ajustados correspondendo de forma satisfatória a tendência da taxa de secagem, com coeficientes de determinação acima de 88%.

3.2.3 Contração das lamelas e das tábuas após a secagem em câmara convencional

Ao avaliar o fenômeno de desorção na intensidade de aproximação das micelas de celulose e hemicelulose na secagem em câmara convencional das madeiras, nota-se diferença estatística pelo teste de F entre as espécies avaliadas independente da espessura do material a ser seco (TABELA 2.18).

TABELA 2.18 - CONTRAÇÃO DA MADEIRA DE *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* EM LARGURA, ESPESSURA E VOLUMÉTRICO APÓS A SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL

Espécie	Espessura	Contração da madeira (%)		
		Largura	Espessura	Volumétrico
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	5 mm	3,00 a (0,88)	5,49 a (1,95)	8,33 a (2,15)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	5 mm	2,87 a (1,30)	5,17 a (2,32)	7,89 a (2,70)
<i>Pinus oocarpa</i>	5 mm	4,61 b (1,66)	7,58 b (2,59)	11,84 b (2,86)
Fator de significância		82,60*	41,16*	99,12*
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	40 mm	2,53 a (0,97)	3,22 a (1,82)	5,75 a (2,02)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	40 mm	3,54 b (1,16)	4,19 b (1,15)	7,72 b (1,43)
<i>Pinus oocarpa</i>	40 mm	3,96 c (1,21)	4,44 b (1,37)	8,40 c (1,83)
Fator de significância		36,53*	16,20*	47,58*

Valores entre parêntesis correspondem ao desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra minúscula (vertical) não diferem estatisticamente entre si (Tukey, $p > 0,05$), dentro de cada fator.

Para a secagem das lamelas de 5 mm de espessura, nota-se que a espécie de *Pinus oocarpa*, obteve os maiores valores de contração (largura, espessura e volumétrico) dentre as espécies estudadas, diferindo estatisticamente das demais. Estes resultados, está relacionado a massa específica básica da espécie ($0,463 \text{ g.cm}^{-3}$), a qual corresponde a 25 e 14% superior aos obtidos para as espécies de *P. caribaea* var. *caribaea* e *P. caribaea* var. *hondurensis*. Observa-se que os valores obtidos para a contração em espessura, foram aproximadamente 1,80 vezes superiores aos obtidos para a contração em largura.

Tais resultados se justificam, em função da direção anatômica das lamelas produzidas para a produção de lápis, sendo predominantemente radiais. A contração em espessura tende a ser maior do que na largura, quando a secagem é conduzida com temperatura superior a 60°C . Este fato ocorre, em função das células da superfície estarem restringidas a contraírem em largura pelas células do interior (que ainda se encontram acima do PSF), enquanto ainda podem contrair livremente em espessura.

Para a secagem das tábuas de 40 mm de espessura, observa-se que as espécies de *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* diferiram estatisticamente para as contrações mensuradas (largura, espessura e volumétrica). Tendo a espécie de *Pinus caribaea* var. *caribaea* a menor variação dimensional ao final do processo de secagem.

A aproximação das microfibrilas de celulose e hemicelulose da madeira, no processo de dessorção, está diretamente relacionada à massa específica básica ($0,358 \text{ g.cm}^{-3}$) e às características anatômicas da madeira. Esta espécie é proveniente de plantios jovens (14 anos), que tem por características traqueídeos mais curtos e maior ângulo microfibrilar (PANSIN; DE ZEEUW, 1980; ZOBEL, 1984).

Observa-se ainda que a contração em espessura das tábuas de 40 mm, foi em média 32% menor que a contração em espessura das lamelas de 5 mm. Esta menor variação dimensional para as tábuas de 40 mm de espessura, tem relação com a melhor qualidade para a secagem das tábuas, em que foi obtido a menor variação do teor de umidade final e umidade final média da carga, condizente com a curva de secagem elaborada.

A contração em espessura da madeira durante o processo de secagem, é uma variável importante, em função das rígidas normas regulamentadoras de segurança – NR 12 (Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos), pela estabilidade da pilha de madeira durante o processo de secagem. Observa-se os coeficientes de variação para esta variação são elevados, o qual tem o potencial de ocasionar instabilidade entre as pilhas.

Para produção em grande escala, a menor variação dimensional da madeira durante a etapa de secagem, corresponde em aumento da capacidade produtiva, em função do rendimento em madeira, assim como, a demanda em horas máquina necessária e a sustentabilidade dos plantios florestais, sendo este, um parâmetro importante para a certificação florestal *Forest Stewardship Council* (FSC).

Para a contração volumétrica observa-se que os valores obtidos para as espécies de *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus oocarpa*, foram superiores aos resultados dos ensaios de contração da madeira em corpos de provas perfeitamente orientados (Capítulo 1). Tais resultados estão relacionados à madeira de compressão nas amostras secas em estufa convencional. Conforme

relatos de Latorraca e Albuquerque (2000) e Vidaurre et al. (2013), madeira de reação, tem como característica maior índice de contração que madeiras de lenhos normais. De forma geral, os resultados obtidos para a contração volumétrica (somatório da contração em largura e espessura) estão diretamente relacionados à estrutura anatômica da madeira. Almeida et al. (2007) e Logdson et al. (2008) relataram, o efeito dos elementos anatômicos na contração, e o diâmetro dos lumens foi um fator importante para elucidar a estabilidade dimensional das madeiras estudadas.

As variações dimensionais estão relacionadas com a espécie, posição dentro da árvore, massa específica, temperatura de secagem e o nível de estresse de secagem causada pelo gradiente de umidade (GLASS; ZELINKA, 2010; PAES et al. 2015).

A magnitude da grandeza de contração entre o PSF e o estado completamente seco para madeiras de coníferas, são de 6,0 a 12% para a contração tangencial e 3,0 a 6,0% para a contração radial (SKAAR, 1988; TSOUMIS, 1991). Portanto, diante dos resultados obtidos, pode-se afirmar que os valores obtidos nesta pesquisa estão em acordo com os descritos na literatura.

3.2.4 Avaliação dos empenamentos das lamelas e das tábuas após a secagem em câmara convencional

Observa-se que para o método de secagem das lamelas em câmara convencional (FIGURA 2.20) que as madeiras estudadas de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*, tiveram incidência de empenamento com flecha superior a 1,5 mm (flecha máxima aceitável na empresa), sendo semelhantes entre si. Sendo o *P. oocarpa*, a espécie com maior índice (7,82%), no entanto, o valor obtido corresponde a 0,46 pontos percentuais a mais que a espécie com o menor índice (*Pinus caribaea* var. *caribaea*).

FIGURA 2.20 - EMPENAMENTOS DAS LAMELAS DE 5 mm DE ESPESSURA DAS MADEIRAS DE *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* E *Pinus oocarpa* SECAS EM ESTUFA CONVENCIONAL DE SECAGEM



FONTE: O autor (2019).

Ao avaliar a influência do período de estabilização (dias) na minimização dos índices de empenamentos, nota-se que as espécies avaliadas tiveram comportamento distintos ao longo dos dias de estabilização em ambiente controlado. Para a madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, a partir da 3ª semana de estabilização (24 dias) não se observa mais empenamentos nas amostras com flecha superior a 1,5 mm.

Já a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* após a 6ª semana de estabilização (48 dias) não há evidência de amostras com empenamento superior a 1,5 mm de flecha. Entretanto, após 35 dias de estabilização (5ª semana), apenas duas (0,67%) amostras ainda apresentavam empenamento com flecha superior a 1,5 mm, em função destas amostras apresentarem lenho de compressão (FIGURA 2.21).

FIGURA 2.21 – AMOSTRA DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis* EMPENADA (TORÇÃO) E COM PRESENÇA DE LENHO DE COMPRESSÃO.



FONTE: O autor (2019).

De forma geral, a metodologia utilizada para a secagem das lamelas em câmara convencional, para a incidência de empenamentos na madeira. Para que a lamela posicionada na região central do conjunto de oito lamelas, atingisse a umidade final esperada (8%), houve a necessidade de secar além do necessário as lamelas dispostas nas extremidades, em função da dispersão de umidade entre as lamelas, consequentemente, maior a probabilidade de ocorrer empenamentos nestas lamelas.

Outro fator a ser levado em consideração é o teor de umidade para a produção do lápis. No processo de usinagem, a madeira deve ter teor de umidade, compreendendo entre 6 a 10%, qualquer teor de umidade acima do especificado, ocasiona superfície áspera e a probabilidade de incidência de lápis torto (encurvamento) aumenta de forma considerada. Portanto, a estabilização do teor de umidade médio das amostras, no período avaliado (60 dias) tem por objetivo reduzir a dispersão de umidade da madeira, assim como, minimizar a incidência do empenamento.

Ao avaliar o empenamento da madeira, na secagem das tábuas de 40 mm de espessura, após a transformação em peças com dimensões finais de 84,0 x 5,0 x 182,4 mm, estas não apresentaram empenamentos e o teor de umidade final condizente com a especificação. Portanto, para esta metodologia de secagem, não houve a necessidade do período de 60 dias para a estabilização da madeira, conseqüentemente, os custos de estoque de contingência são reduzidos de forma considerada, sendo necessário, apenas o estoque de segurança.

4. CONCLUSÕES

- A secagem das tábuas com 40 mm de espessura proporcionou madeiras com teor de umidade final mais homogêneo, independente da espécie;
- O tempo líquido de secagem das lamelas e das tábuas foram semelhantes, entretanto, o gerenciamento da secagem das lamelas por pinos sensores não é recomendado;
- A redução do volume das tábuas de 40 mm de espessura ao final do processo de secagem é aproximadamente 32% menor que a contração das lamelas de 5 mm de espessura;
- A secagem das lamelas em câmara convencional há incidência de empenamentos, sendo necessário o período de estabilização da madeira para que não comprometa a eficiência da linha de produção;
- A metodologia de sobrepor as lamelas para a secagem em câmara convencional proporcionar maior produtividade para o setor de secagem (15%) e menor custo produtivo;
- A produção de “tabuinhas” a partir de tábuas secas de 40 mm de espessura não há incidência de empenamentos, portanto, para este método de produção não há necessidade do período de 60 dias para a estabilização da madeira.

REFERÊNCIAS

AGUILERA, A.; MUÑOZ, H. Rugosidad superficial y potencia de corte em el cepillado de acacia melanoxylon y sequoia sempervirens. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 13, n. 1, p.19-28, 2011.

ALMEIDA, G.; GAGNÉ, S.; HERNÁNDEZ, R. E. A NMR study of water distribution in hardwoods at several equilibrium moisture contentes. **Wood Science and Technology**, v. 41, n. 4, 2007.

ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I. P.; DUCATTI, M. A. Gupamento de madeiras para secagem convencional. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 89-99, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14806**: Madeira serrada de eucalipto - Requisitos. Rio de Janeiro. 2002, 11p.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 460**. Método de determinación de la humedad. 1972. Buenos Aires, 12p.

ERICKSON, R. Mechano-sorptive behavior of hardwood lumber: the comparison of steam and dehumidification kiln. In: IUFRO INTERNATIONAL CONFERENCE ON WOOD DRYING, 3, 1992, Viena. **Preceding...** Viena: IUFRO, 1992. p. 103-111.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. Moisture relations and physical properties of wood. In: **Wood handbook**: wood as an engineering material. 100 ed. Madison: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, Cap. 4., p. 1-20, 2010. (General Technical Report, FPL-GTR, 190).

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira**. Bauru: Document Center Xerox, 2000. 242p.

HART, C. A. **The drying of wood**. Raleigh: North Caroline Agricultural Extension Service, 1965. 24 p. (Extension circular, 471).

HANSMANN, C. Permeability of wood – a review. **Drevarsky Vyskum**, v.47, n.4, p. 1-16, 2002.

HILDEBRAND, R. **Kiln drying of sawn timber**. Germany: Maschinenbau GmbH, 1970. 199p.

JANKOWSKY, I. P.; HENRIQUEZ, E. Z. Gradientes de umidade e desenvolvimento de tensões na secagem artificial da madeira de *Pinus caribaea* var *hondurensis*. **IPEF**, v. 24, n.24, p. 27-32, 1983.

JUIZO, C. G. F.; LOIOLA, P. L.; ZEN, L. R.; CARVALHO, D. E.; BILA, N. F.; EGAS, A. F.; ROCHA, M. P.; KLITZKE, R. J. Variação radial das propriedades físicas da madeira de *Pinus patula* plantados em Moçambique. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, p. 285, 2015.

KEEY, R. B; LANGRISH, T. A. G.; WALKER, J. C. F. **Kiln-drying of lumber**. Berlin: Springer Verlag, 2000. 326p.

KLITZKE, R. J. **Uso do inversor de frequência na secagem de madeiras**. 2002. 239f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Orgs.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007, v. 1, p. 271-366.

KLITZKE, R. J.; BATISTA, D. C. Ensaio de taxa de secagem e escore de defeitos para a predição da qualidade de secagem convencional da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**. v. 38, n. 85, p. 97-105, 2010.

KOLLMANN, F. E. P.; CÔTE JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag. v. 1. 1968. 592p.

LATORRACA, J. V.; ALBUQUERQUE, C. E. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v.7, n. 1, p.279-291, 2000.

LEPAGE, E. S. et. al. Métodos de tratamento. In: LAPAGE, E.S. et al. (Coord.). **Manual de preservação de madeira**. São Paulo: IPT, v.2, p. 343-419, 1986.

LIEBL, O. A.; LOIOLA, P. L.; ZEN, L. R.; KLITZKE, R. J.; ROCHA, M. P. Influência dos parâmetros dimensionais da pilha na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. submetida à secagem ao ar. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 3-10, 2017.

LOGSDON, N. B.; FINGER, Z.; BORGES, C. G. A. Caracterização físico mecânica da madeira de peroba-mica, *Aspidosperma populifolium* A. DC. (Apocynaceae). **Floresta**, v. 38, n. 1, 2008.

LOIOLA, P. L. **Secagem da madeira de teca (*Tectona grandis* L. f) sob diferentes condições**. 2015. 224f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2015.

LOPES, D. J. V.; PAES, J. B.; JANKOWSKY, I. P.; SEGUNDINHO, P. G. A.; VIDAURRE, G. B. Influências do diâmetro e umidade da madeira na qualidade do tratamento preservativo. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. e20160207, 2017.

LUBE, V. M.; MAZIERO, R.; FRANCA, L. C. A.; VIDAURRE, G. B.; PAULA, E. N. S. O. Madeira juvenil x madeira adulta na produção de celulose. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 22, p. 74-81, 2013.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**: principles and practice. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

MARTINS, M. F.; OLIVEIRA, L. S.; COELHO, B. S.; PEREIRA, M. L. Taxa de secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. de diferentes espessuras. 18., 2009. Pelotas. In... Pelotas: Congresso de iniciação científica. 2009.

MELLADO, E. C. E. R. **Modelo de transferência de calor e massa na secagem de madeira serrada de Pinus**. 2007. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

MILOTA, M. R.; TSCHERNITZ, J. L. Correlation of loblolly pine drying rates at high temperature. **Wood and Fiber Science**, v. 22, n. 3, p. 298–313, 1990.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p.115-127, 2005.

PRATT, G. H. **Timber drying manual**. London: Department of the Environment/Building Research Establishment, 1974. 152p.

PAES, J. B.; LOIOLA, P. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; BRAZ, R.L.; KLITZKE, R.J. Efeito de soluções salinas na estabilidade dimensional das madeiras de *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana*. **Scientia Forestalis**, v. 43, p. 271-281, 2015.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 4 ed. New York: MacGraw-Hill, 1980. 722 p.

SANTINI, E. J.; TOMASELLI, I. **Colapso na madeira de algumas experiências brasileiras**. Curitiba: FUPEF, 1980. 21p. (Série Técnica, n.3).

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse, Syracuse University Press, 1971. 131p

SIAU, J. F. **Transport process in wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 245 p.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazonica**, v. 43, p. 179-184, 2013.

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator's manual**. Madison: U.S. Department of Agriculture, 1991. 274 p.

SIMPSON, W. T. **Effect of air velocity on the drying rate of single eastern white pine boards**. Madson: USDA Forest Service Research Nore, 1997.

SKAAR, C. **Wood-water relations**. New York: Spring-Verlag. 1988. 283p.
TSOUMIS, G. T. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapmann e Hall, 1991. 479p.

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 18, p.10-18, 2011.

ZOBEL, B. J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Science and Technology**, n.18, n.1, p.1-17, 1984.

CAPÍTULO 3 – SECAGEM EM ALTA TEMPERATURA DA MADEIRA DE *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* E *Pinus oocarpa* PARA A PRODUÇÃO DE LÁPIS

RESUMO

Na indústria de beneficiamento da madeira, o processo de secagem é responsável por grande parte dos custos industriais. Quando se refere a desenvolvimento tecnológico e aplicação industrial, a secagem em altas temperaturas possui como principal vantagem, em relação aos métodos convencionais, a redução significativa nos tempos de secagem, tendo ênfase no alcance da capacidade máxima do equipamento e produtividade do setor, consequentemente, redução no consumo de energia elétrica. Este Capítulo teve por objetivo avaliar a qualidade da madeira seca pelo método de secagem em altas temperaturas, sob seus aspectos qualitativos de ocorrência de empenamentos duas espécies de *pinus* tropicais para a manufatura de lápis. A secagem foi conduzida em um secador contínuo de escala industrial, sendo avaliada três metodologias de secagem. A primeira foi conduzida com temperatura de 90°C, a segunda com 135°C e a terceira com temperatura máxima de 165°C. Foi avaliado o comportamento das madeiras de *Pinus caribaea* var. *caribaea* de 14 anos, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 25 anos e o *Pinus oocarpa* de 35 anos. Todas as espécies são provenientes de povoamentos florestais localizados na Região do Cerrado brasileiro. Foram avaliados os parâmetros de taxa de secagem, tempo de secagem e a qualidade da madeira seca. A temperatura de secagem influencia diretamente no empenamento da madeira, no entanto, para a secagem da madeira com 5mm de espessura, independente da temperatura, há sempre evidência de empenamentos. Tal fato ocorre em função da metodologia utilizada para a secagem da madeira com espessuras reduzidas.

Palavras-chave: Secador contínuo de madeira. Taxa de secagem. Tempo de secagem. Método de secagem. Qualidade da madeira. Defeitos de secagem.

ABSTRACT

In the wood processing industry, the drying process is responsible for a large part of industrial costs. When referring to technological development and industrial application, drying at high temperatures has the main advantage over conventional methods to a significant reduction in drying times with emphasis on achieving maximum capacity of the equipment and productivity of the sector, consequently reduction in energy consumption power. This Chapter aimed to evaluate the quality of dry wood by the drying method at high temperatures, under its qualitative aspects of occurrence of warping two species of tropical *Pinus* for the manufacture of pencils. The drying was conducted in an industrial scale continuous dryer, and three drying methodologies were evaluated. The first drying was conducted with a temperature of 90°C, the second with 135°C and the third a maximum temperature of 165°C. The behavior of 14 years old *Pinus caribaea* var. *caribaea*, 25 year old *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and 35 year old *Pinus oocarpa* were evaluated. All species come from the Brazilian Cerrado region afforestation. The parameters of drying rate, drying time and dry wood quality were evaluated. The drying temperature directly influences the warping the wood, however, for the drying of the 5mm thick wood, regardless of the drying temperature, there is always evidence of warping in the wood. This fact occurs due to the methodology used for the drying of the wood with reduced thicknesses.

Keywords: Solid wood dryer. Drying rate. Drying time. Drying method. Quality of wood. Drying defects.

1. INTRODUÇÃO

O processo de secagem a alta temperatura é definido como um método de secagem, tendo a temperatura do ambiente de secagem, igual ou superior a 100 °C (OBATAYA et al., 2006; PONCSAK et al. 2006). Esse método só é possível com a utilização de equipamento bem projetado e com sistema automatizado de controle e, ou, gerenciamento, podendo o processo de remoção de água da madeira ser conduzido à temperatura e potencial de secagem acima das condições normalmente utilizada em câmara convencional de secagem.

Basicamente, existem três formas de condução para a secagem a alta temperatura. O primeiro são equipamentos que possuem controle do ambiente de secagem por meio de termômetros de bulbo seco e bulbo úmido. Para esta configuração de equipamento, a secagem pode ser conduzida mantendo-se a temperatura do termômetro do bulbo úmido inferior a 100 °C e a do bulbo seco, igual ou superior a 100 °C. Para este processo, a condução da secagem pode ser realizada com ausência de ar, sendo utilizado apenas vapor superaquecido ou circulação forçada de ar (ar-vapor) com velocidade de circulação de ar elevada (TOMASELLI, 1977).

Para equipamentos em que utiliza apenas como controle do ambiente de secagem a temperatura do bulbo seco (secadores contínuos de lâminas), a secagem da madeira em alta temperatura é realizada com o termômetro do bulbo seco excedendo a 100 °C, sendo a umidade relativa do ambiente de secagem podendo não ser controlada (MILOTA, 2000).

Contudo, sabe-se que a temperatura reduz consideravelmente o tempo de secagem, proporcionando elevada taxa ou velocidade de secagem, principalmente, para a remoção da água de difusão enquanto, a velocidade de circulação do ar, exerce influência significativa na transferência de calor à superfície da madeira, assim como, na transferência da massa de vapor d'água da superfície para o meio secante, aumentando a taxa de remoção da água capilar (SEVERO, 1989; KLITZKE, 2007).

O principal argumento em se adotar o método de secagem em alta temperatura é a redução no tempo de secagem consequentemente, o consumo de energia elétrica, conforme estudos relatados por Sik et al. (2009; 2010); Vilkovská et al. (2016). Outros benefícios para este método de secagem é a

redução no teor de umidade de equilíbrio da madeira e a maior resistência à degradação biológica (FRÜHWALD, 2007; BORREGA; KÄRENLAMPI, 2010; SEHLSTEDT-PERSSON, 2010; BARANSKI, 2018). No entanto, Poncsak et al. (2006) relatam reduções nas propriedades mecânicas da madeira.

Em termos de desenvolvimento tecnológico e aplicação industrial, é notório reduções significativas nos tempos de secagem (SIK et al., 2009; 2010; BARANSKI et al., 2013; VILKOVSKÁ et al., 2016), tendo grande ênfase no alcance da capacidade máxima de equipamentos e produtos, o que cria presunção de sua aplicabilidade na indústria de transformação de madeiras.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Verificar a qualidade da madeira seca pelo método de secagem em alta temperatura, sob seus aspectos qualitativos de ocorrência de empenamentos em duas espécies de pinus tropicais, para a produção de lápis.

1.2.2 Objetivos específicos

Avaliar a dispersão de umidade e a capabilidade do processo de secagem em alta temperatura da madeira das espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* em secador contínuo de esteira;

Analisar a influência da temperatura na taxa de secagem da madeira das espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*;

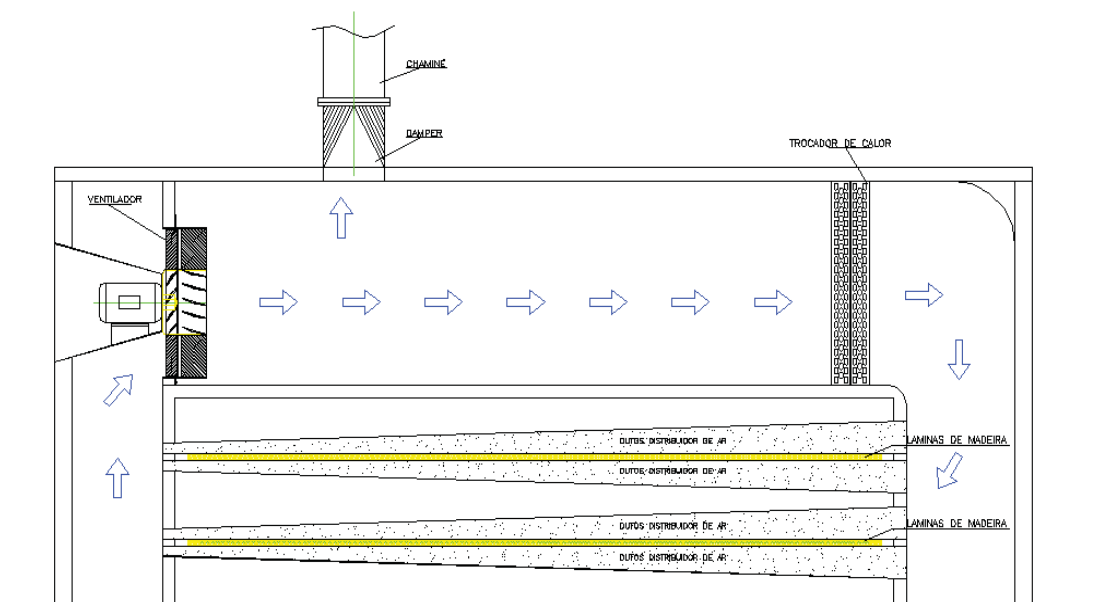
Quantificar a incidência de defeitos gerados pela secagem em alta temperatura da madeira para as espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 EQUIPAMENTO UTILIZADO

Para a secagem em alta temperatura foi utilizado um secador contínuo em escala industrial do tipo esteira rolantes, da marca Benecke, com dimensão nominal útil de 5,5 x 2,0 x 20,0 m (largura x altura x comprimento), com 10 câmaras de secagem acopladas em linha e, possuindo duas esteiras de secagem, uma superior e outra inferior, instalado nas dependências da A.W. Faber-Castell, Unidade de Prata-MG (FIGURA 3.22).

FIGURA 3.22 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DO SECADOR CONTÍNUO DE MADEIRA COM DETALHAMENTO DAS ESTEIRAS DE SECAGEM.



FONTE: Benecke (2017).

O aquecimento ocorre por sistema de trocadores de calor a vapor e ventilação forçada de ar. O suprimento de vapor é por meio de caldeira do tipo flamatubular, com capacidade de produção de vapor de $15 \text{ Ton} \cdot \text{h}^{-1}$ e pressão de vapor a $14 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$. O sistema de circulação de ar, ocorre por ventilação forçada no qual, um conjunto de 10 ventiladores com propulsão de motor de 12,5 cv com produção de $12.000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, sendo utilizado a potência nominal dos motores de 60 Hz.

A umidade relativa das câmaras é controlada pelo sistema de “*dumper*” fixo, localizados nas extremidades da câmara de secagem, tendo apenas um “*dumper*” para renovação do ar por câmara de secagem.

Para o monitoramento da secagem, cada câmara é dotada de um sistema de gerenciamento de temperatura independente, que permite monitorar, controlar e modificar apenas a variável temperatura (FIGURA 3.24).

FIGURA 3.23 – MONITORAMENTO E GERENCIAMENTO DA TEMPERATURA DAS CÂMARAS DE SECAGEM



FONTE: O autor (2019).

2.1.1 Alimentação do secador contínuo para a secagem em alta temperatura

Para a secagem em alta temperatura foram utilizadas peças de madeira com dimensões nominais de 84,0 x 5,0 x 182,4 mm (largura x espessura x comprimento) denominadas de tabuinhas, alimentadas na esteira do equipamento a uma velocidade de $0,25 \text{ m.min}^{-1}$, (FIGURA 3.25), totalizando 6700 amostras de madeira para cada tratamento avaliado.

FIGURA 3.24 - TABUINHAS ALIMENTADAS NA ESTEIRA DO EQUIPAMENTO PARA A SECAGEM EM ALTA TEMPERATURA.

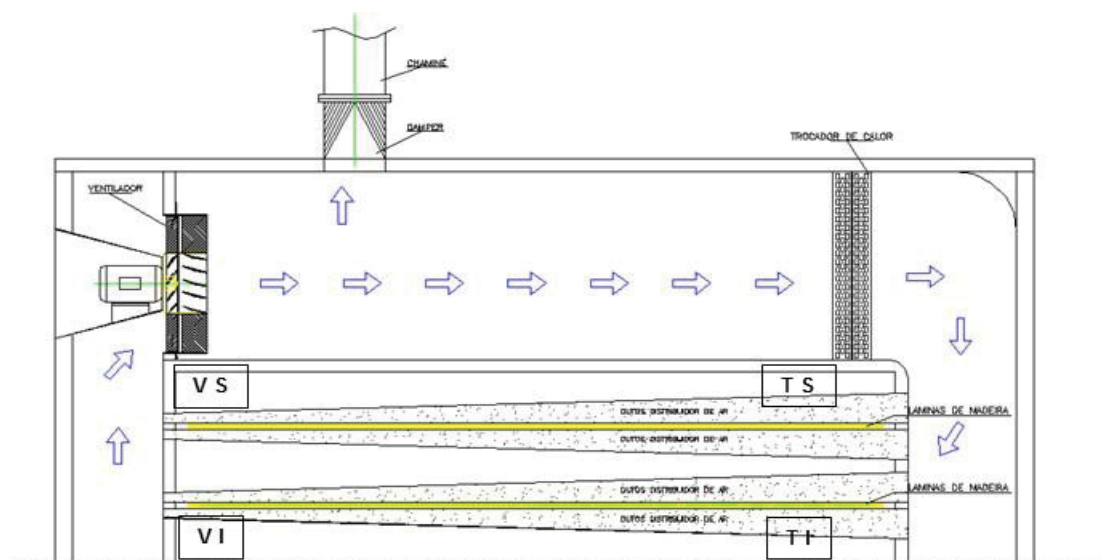


FONTE: O autor (2019).

2.2 MAPEAMENTO DO SECADOR CONTÍNUO

Para o mapeamento do secador contínuo de madeira, o equipamento foi segmentado em pistas de secagem (superior e inferior) e dentro de cada pista foi dividido em duas regiões (ventilador e trocador de calor). Portanto, foi avaliado a secagem nas quatro regiões do secador (FIGURA 3.26).

FIGURA 3.25 – REGIÕES DO SECADOR CONTÍNUO DE MADEIRA.



VS: Ventilador Superior; VI: Ventilador Inferior; TS: Trocador de calor Superior; TI: Trocador de calor inferior.

FONTE: O autor (2019).

A avaliação da secagem, procedeu com base na dispersão de umidade da madeira entre as regiões de secagem do equipamento. Para tanto, foi determinado o teor de umidade, sendo coletadas 50 amostras para cada posição do secador (VS; VI; TS e TI), totalizando 200 repetições por espécie avaliada. A determinação do teor de umidade final, foi realizada pelo método gravimétrico conforme a Comisión Panamericana de Normas Técnicas - COPANT 460 (1972). Para o mapeamento do secador, utilizou-se a configuração de curva de secagem mais drástica (TABELA 3.19).

TABELA 3.19 – CURVA DE SECAGEM PARA O MAPEAMENTO DO SECADOR CONTÍNUO

Mapeamento secador	Câmara Secador									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	135	135	145	155	160	160	165	165	155	135
Posição “dumper”	F	F	25% A	25% A	50% A	50% A	A	A	A	A

F: Fechado; A: Aberto.

2.2.1 Umidade inicial da madeira

A determinação do teor de umidade inicial da madeira foi realizada conforme a COPANT – 460 (1972). Para tanto, foram utilizadas 150 repetições para cada espécie estudada, sendo selecionadas de forma aleatória. As amostras foram colocadas em estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 103 ± 2 °C. Para maior controle da secagem a perda de massa dos corpos de prova foi monitorada até peso constante.

2.3 SECAGEM DA MADEIRA EM ALTA TEMPERATURA

Para avaliar a influência da temperatura elevada no comportamento da madeira, foram utilizados três programas de secagem disponibilizados nos registros históricos da empresa (TABELA 3.20).

TABELA 3.20 – CURVAS DE SECAGEM ELABORADAS PARA A SECAGEM EM ALTA TEMPERATURA

Programa de secagem 1	Câmara de Secagem									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Posição “dumper”	F	F	25% A	25% A	50% A	50% A	A	A	A	A
Programa de secagem 2	Câmara de Secagem									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	100	115	135	135	135	135	135	135	135	135
Posição “dumper”	F	F	25% A	25% A	50% A	50% A	A	A	A	A
Programa de secagem 3	Câmara de Secagem									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	135	135	145	155	160	160	165	165	155	135
Posição “dumper”	F	F	25% A	25% A	50% A	50% A	A	A	A	A

F: Fechado; A: Aberto.

2.4 AVALIAÇÃO DA SECAGEM A ALTA TEMPERATURA

As avaliações da secagem da madeira a alta temperatura, foi realizada de acordo com a taxa de secagem, umidade final, rachaduras e empenamentos.

2.4.1 Taxa de secagem e umidade final

A análise da taxa de secagem (Tabela 3.21) foi realizada em função da perda de umidade com o tempo decorrido (horas), sendo expressa em porcentagem de umidade por hora ($\%U \cdot h^{-1}$). Em função da característica do equipamento utilizado (secador de esteira) foi quantificada a taxa de secagem total das espécies estudadas.

TABELA 3.21- FAIXA TEOR DE UMIDADE PARA O CÁLCULO DA TAXA DE SECAGEM

Faixa de teor de umidade			
1	verde	até	8%

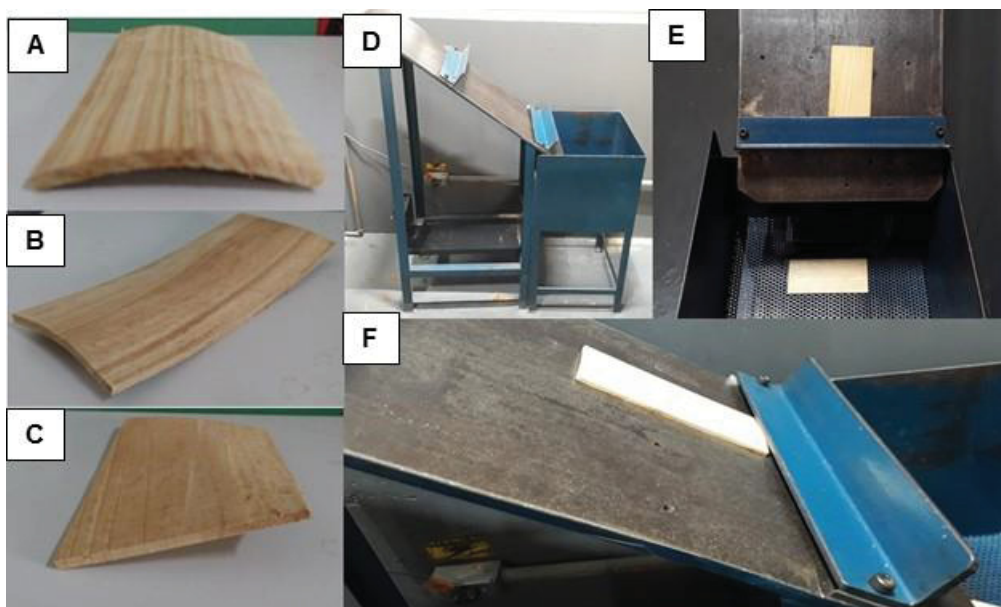
A determinação da umidade final foi pelo método gravimétrico conforme a COPANT 460 (1972), sendo amostrado um total de 296 tabuinhas por programa de secagem testado para cada espécie estudada.

2.4.2 Rachaduras e empenamentos da madeira

As rachaduras foram classificadas em rachaduras de superfície e de topo. Quando presentes, estas tiveram seus comprimentos obtidos em milímetros, com um paquímetro, sendo os dados apresentados em mm.m^{-1} , em porcentagem do número de peças que apresentaram o defeito em relação à amostragem total.

A quantificação e qualificação dos empenamentos, os quais, compreenderam o encurvamento e o encanoamento, foram avaliados em uma mesa com vão gabaritado em 6,5 mm para a passagem das amostras (FIGURA 3.27). As amostras que ficavam retidas no limite superior do gabarito, foram classificadas como empenadas. A avaliação decorreu por um período de 60 dias, sendo quantificado o percentual de peças empenadas semanalmente em cada tratamento avaliado, totalizando 296 amostras para cada tratamento.

FIGURA 3.26 – EMPENAMENTOS AVALIADOS DE ENCANOAMENTO (A), ENCURVAMENTO (B), TORCIMENTO COMPLEXO (C) E O GABARITO UTILIZADO PARA A MENSURAÇÃO, VISTA LATERAL (D), VISTA FRONTAL (E) E DETALHE DO VÃO (F).



FONTE: O AUTOR (2019).

2.3 ANÁLISE E ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para a análise e avaliação dos resultados do mapeamento do secador contínuo de esteira foi empregado um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial duplo. Na comparação do teor de umidade final da madeira, analisaram-se os fatores: espécie com três níveis e posição do secador com 4 níveis. Já a análise e avaliação dos resultados da secagem à alta temperatura foi empregado um delineamento inteiramente casualizado. Para tanto, foram utilizados planilha eletrônica e programas estatísticos com recursos gráficos para melhor elucidação dos resultados.

Para os fatores e interação detectados como significativos pelo teste F ($p \leq 0,05$), foi empregado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), sendo primeiramente realizado testes de normalidade dos dados e o teste de homogeneidade das variâncias de Bartlett entre os tratamentos (RIBEIRO JUNIOR, 2001).

Quando da necessidade para homogeneizar as variâncias, os dados foram transformados em $\arcsen[\text{raiz}(\text{perda de massa}/100)]$, como recomendado por Steel; Torrie (1988).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 MAPEAMENTO DO SECADOR CONTÍNUO DE MADEIRAS

Observa-se que os valores de umidade inicial das madeiras estudadas apresentaram diferenças estatísticas. A madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* teve o maior teor de umidade inicial, enquanto a madeira de *Pinus oocarpa* iniciou a secagem com o menor teor de umidade (TABELA 3.22).

TABELA 3.22 - TEOR DE UMIDADE INICIAL PARA A MADEIRAS DE *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *hondurensis* E *P. oocarpa* PARA A SECAGEM EM ALTA TEMPERATURA

Espécie	TUi (%)	DP	CV (%)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	152,60 b	0,33	22,01
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	146,40 b	0,33	22,76
<i>Pinus oocarpa</i>	106,29 a	0,27	25,42
Fator de significância	97,64*		

DP: desvio padrão. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical não diferem entre si (Tukey, $p > 0,05$).

Vale salientar que as madeiras de pinus tropicais destinadas à produção de lápis, foram impregnadas com solução aquosa a base de ácidos graxos em autoclave industrial pelo processo Bethell, portanto, as madeiras estavam com sua estrutura celular completamente saturada. No entanto, em se tratando de peças de madeiras finas (5 mm de espessura), o “*lead time*” para a segregação das amostras, identificação e pesagem, aliado à umidade relativa do ambiente, influencia diretamente na umidade inicial, em função da perda de umidade por secagem natural.

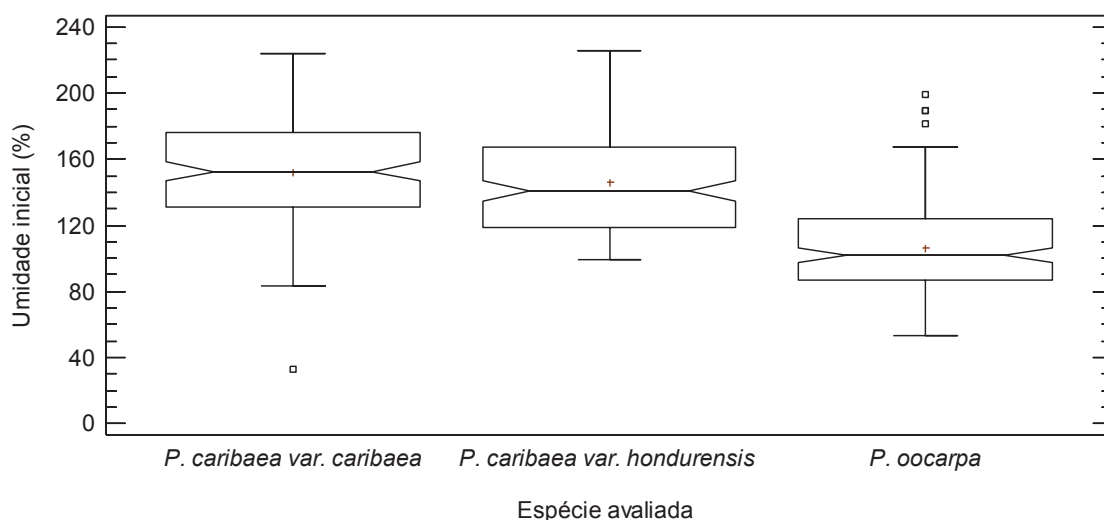
A madeira de *Pinus oocarpa* foi a única espécie estudada proveniente de plantios com idade superior a 35 anos e com maior massa específica básica ($0,463 \text{ g.cm}^{-3}$). A idade do plantio aliado à maior massa específica da madeira, limita o volume (proporcional) de água (livre e difusão) presente.

O processo de secagem por secador contínuo de esteira, diferentemente do método de secagem em estufa convencional, a etapa de aquecimento não há injeção de água ou vapor saturado no ambiente de secagem (não há controle da

umidade relativa do ambiente de secagem). No entanto, a curva de secagem elaborada para esta metodologia, padronizou os dois primeiros “*dumper*” fechados por completo, com o intuito de minimizar a transferência de massa e proporcionar a transferência de calor (aquecimento uniforme para toda a carga de madeira).

Além do valor médio obtido para o teor de umidade inicial, a homogeneidade de umidade de todas as peças, que compunham a carga, é de fundamental importância para a condução e gerenciamento da secagem, para que se obtenha uma secagem uniforme. Tal fato, fica evidenciado ao avaliar de forma gráfica (FIGURA 3.28) as umidades iniciais com desvios padrões homogêneos, assim como, as meridianas semelhantes. Não havendo, portanto, discrepâncias entre as umidades entre as madeiras que compunham as cargas de secagem.

FIGURA 3.27 - VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE INICIAL DAS MADEIRAS DE PINUS TROPICAIS SUBMETIDA À SECAGEM A ALTA TEMPERATURA.



FONTE: O autor (2019).

As umidades iniciais das madeiras do presente estudo, condizem com as citadas na literatura para madeiras da mesma espécie. Para o gradiente de umidade e o desenvolvimento de tensões da secagem artificial da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, Jankowsky; Henriquez (1983) obtiveram valores de umidades iniciais de 128,40% a 147,30%, dependendo da posição

amostrada. Para madeiras de pinus tropicais, oriundos de maciços florestais de Moçambique, Juízo et al. (2015) relataram valores de 125,17%.

Para o teor de umidade final das espécies estudadas, em função da região de secagem do secador contínuo, observa-se valores médios bem abaixo do esperado (8%). A determinação do teor de umidade final da madeira, para esta metodologia de secagem só é possível, ao final do processo, e o controle e gerenciamento é realizado por meio da manipulação da velocidade da esteira (tempo de permanência da madeira no ambiente de secagem). Observa-se (TABELA 3.23) que a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* diferiu estatisticamente das demais, apenas na região do trocador de calor localizado na esteira inferior de secagem, tendo a maior média de umidade final.

TABELA 3.23 – VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE FINAL EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO DO SECADOR CONTÍNUO

Espécie	Posição no Secador Contínuo			
	Ventilador		Trocador de calor	
	Malha Inferior	Malha Superior	Malha Inferior	Malha Superior
<i>P. caribaea</i> var <i>caribaea</i>	2,60 aA	2,38 aA	2,50 bA	1,91 aA
<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	2,54 aB	3,62 aAB	4,25 aA	2,11 aB
<i>Pinus oocarpa</i>	2,43 aA	3,12 aA	1,78 bA	2,68 aA
Fator de significância	2,26*			

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na horizontal ou minúscula na vertical, dentro de cada fator, não diferem entre si (Tukey, $p > 0,05$).

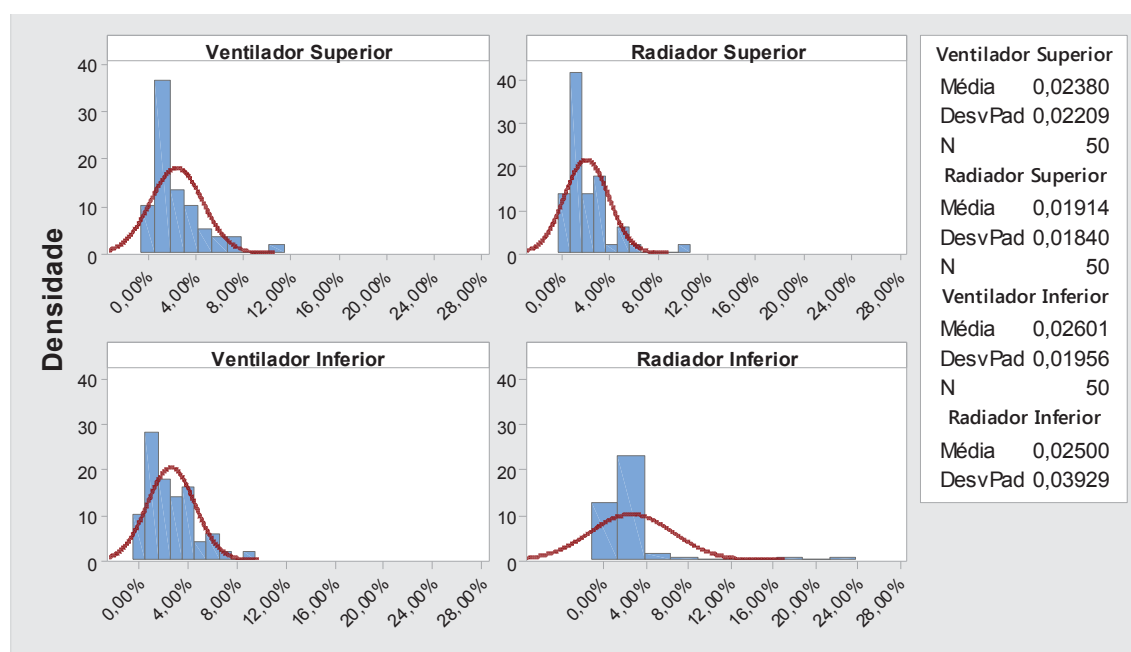
Ao avaliar o teor de umidade final para cada espécie estudada em função da posição de secagem do secador contínuo, percebe para a madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* que não há diferença estatística entre as quatro regiões de secagem do equipamento, tendo como média geral de 2,35%, valor este equivalente a 70% inferior ao limite especificado. Já para a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foi evidenciado diferenças estatísticas em função da região de secagem, em função da dispersão de umidade entre as regiões de secagem do equipamento. Para a madeira de *Pinus oocarpa*, não houve diferença estatística entre as regiões de secagem.

De forma geral, percebe-se que a madeira localizada próxima ao trocador de calor, possui à tendência de maior teor de umidade final. Este fato pode estar

relacionado a deficiência do sistema de circulação de ar, em que o ar quente é direcionado a ductos com direcionadores no sentido transversal ao equipamento. Em processos de secagem, além do teor médio de umidade final atender às especificações do produto a ser manufaturado, a homogeneidade de toda a carga é extremamente importante para a avaliação da qualidade final do produto e gerenciamento/ controle do processo.

Dispersão do teor de umidade final para a secagem em alta temperatura da madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* em função da posição de secagem, pode ser observado na Figura 3.29.

FIGURA 3.28 - HISTOGRAMA DO TEOR DE UMIDADE FINAL DA MADEIRA DE *Pinus caribaea* var. *caribaea* PARA A SECAGEM EM ALTA TEMPERATURA.



DesvPad: Desvio padrão.

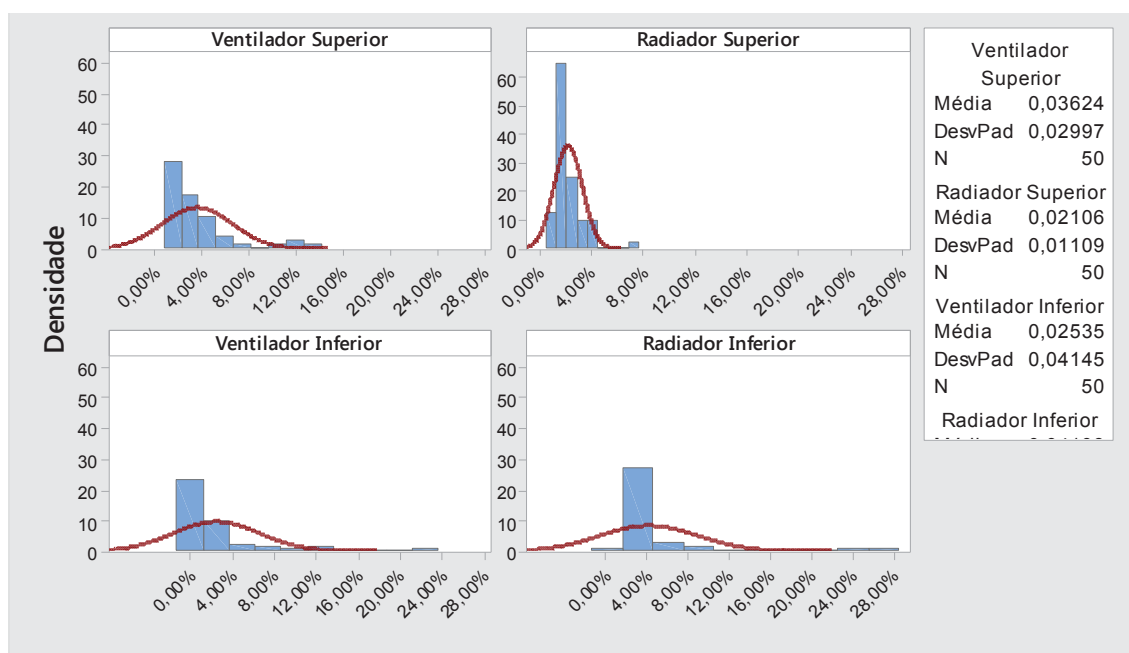
FONTE: O autor (2019).

Nota-se que a secagem da madeira na região do ventilador (malha superior e inferior) apresenta valores próximo a 0% quanto a 12% de umidade final, tendo o coeficiente de variação de 92,81% e 75,20%, respectivamente. Enquanto para a região de secagem do trocador de calor, observa-se madeiras com teor de umidade até 22,82% e coeficiente de variação de 96,11% e 157,15%, respectivamente.

Esta dispersão de umidade final pode estar relacionada ao método de secagem utilizado (capabilidade do equipamento), sendo a velocidade da malha sempre constante. Variações do teor de umidade inicial também contribuem para a dispersão da umidade final, além das alterações na estrutura anatômica da madeira (aspirações das pontoações) e a ausência da etapa de uniformização e condicionamento da madeira.

Já no histograma da dispersão de umidade para a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, observa-se que na região do ventilador (malha superior e inferior) há peças com teor de umidade máximo de 23,20%, tendo o coeficiente de variação para esta malha de 163,50%, respectivamente. Enquanto a madeira seca na malha inferior e próxima ao trocador de calor, foi evidenciado madeira ainda contendo água capilar (30,88% de umidade), concomitantemente, desvio padrão de 130,23% (FIGURA 3.30).

FIGURA 3.29 - HISTOGRAMA DO TEOR DE UMIDADE FINAL DAS MADEIRAS DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis* PARA A SECAGEM EM ALTA TEMPERATURA.



DesvPad: Desvio padrão.

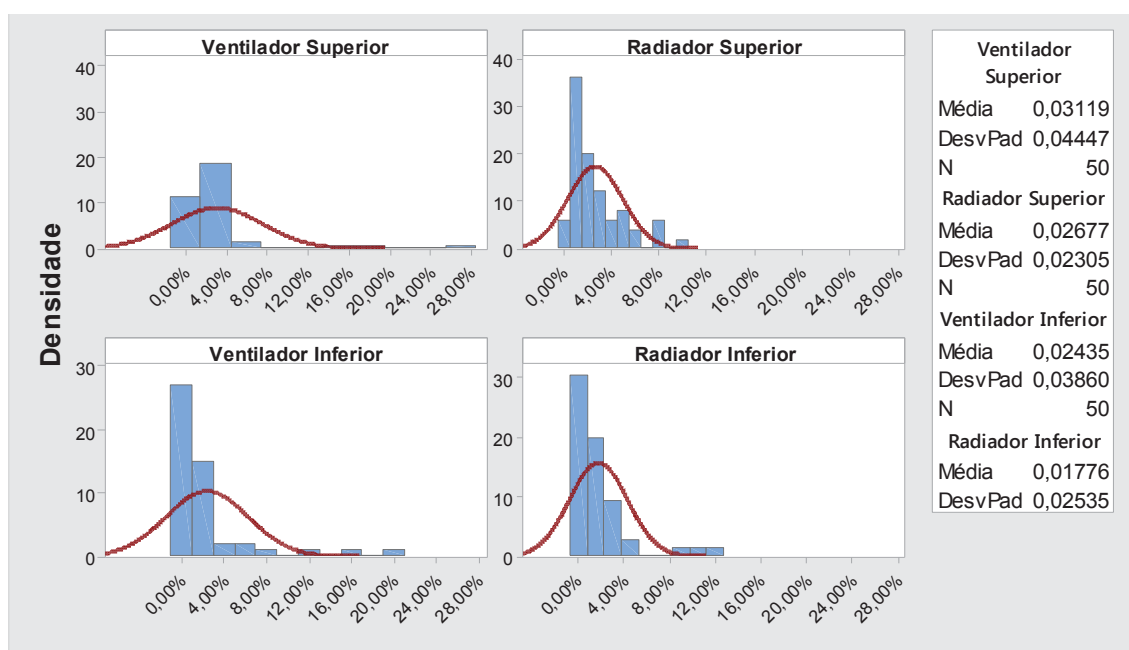
FONTE: O autor (2019).

Variações elevadas do teor de umidade da madeira torna-se prejudicial o processo de colagem da madeira para a produção do lápis. A colagem de madeiras com diferenças de umidade acima de 5% proporciona, segundo Marra

(1992) tensões na linha de cola, fragilizando a mesma, além de aumentar a incidência de tortuosidade no produto acabado, em função das alterações dimensionais.

Já para a espécie *Pinus oocarpa*, nota-se que a madeira localizada próxima à região do ventilador, finalizou o processo de secagem com dispersão de 142,61% e 158,55%, respectivamente para a malha de secagem superior e inferior (FIGURA 3.31). De forma geral, quando se avalia a dispersão de umidade pelo método de secagem (secador contínuo de esteiras) em alta temperatura, percebe-se que em todas as regiões de secagem (ventilador e trocador de calor) para ambas as malhas, possuem elevados valores de coeficiente de variação para o teor de umidade final das tabuinhas.

FIGURA 3.30 - HISTOGRAMA DO TEOR DE UMIDADE FINAL DAS MADEIRAS DE *Pinus oocarpa* PARA A SECAGEM EM ALTAS TEMPERATURAS.



DesvPad: Desvio padrão.

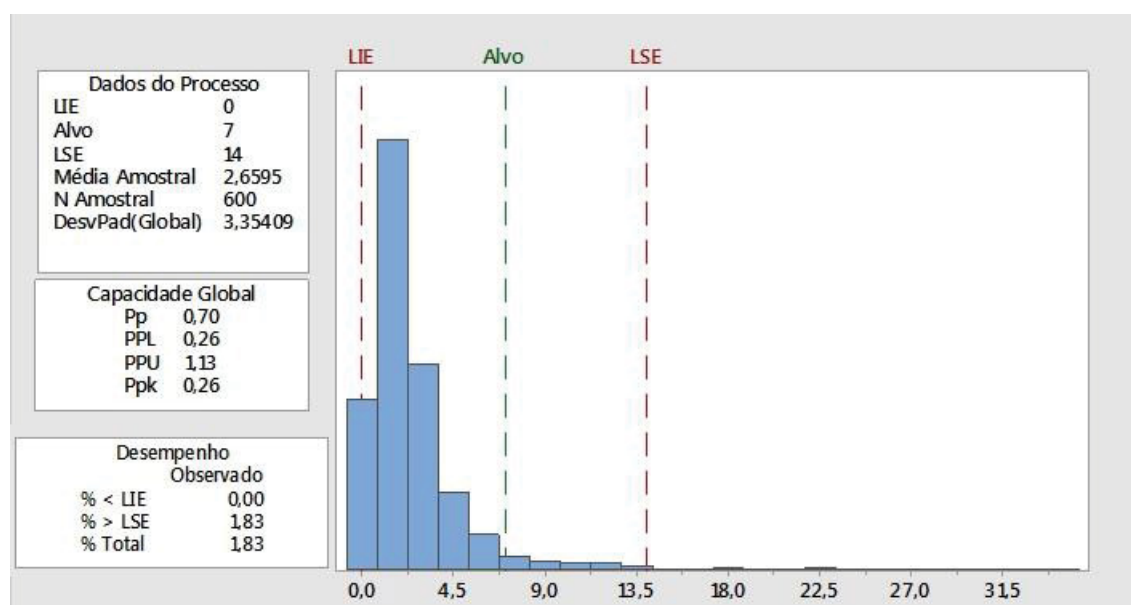
FONTE: O autor (2019).

Diante dos resultados obtidos para o teor de umidade final das madeiras destinadas a produção de lápis, nota-se que a metodologia de secagem a alta temperatura por secador contínuo de esteira é um processo que necessita estar sob constante controle, por meio da ferramenta controle estatístico do processo – CEP, para que o produto atenda a qualidade aceitável, conforme especificação

esperada. Observa-se (FIGURA 3.32) o resultado referente as umidades de todas as espécies estudadas, as quais, apresentaram valor de capacidade do processo - Pp igual a 0,70, que indica a capacidade baixa do processo, pois quando o $Pp < 1,0$, o processo encontra-se como incapaz de gerar resultados satisfatórios e precisar de monitoramento constante. Quando o índice de capacidade ($Pp > 1,33$), o processo é capaz e entrega resultados satisfatórios (MONTGOMERY, 2004). Para verificação do desempenho geral do processo de secagem utilizando esta metodologia, verifica-se que 1,83% da distribuição está acima do limite superior especificado (LSE).

Desse modo, o processo de secagem em alta temperatura necessita de ser monitorado constantemente e aliado elevado desvio padrão obtido, o gerenciamento e controle da umidade realizado por média, não torna significativo para avaliar a qualidade da madeira seca. Sendo necessário o gerenciamento e controle da umidade final, com a definição do plano amostral e procedimentos de inspeção por atributos, conforme a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 5426, Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1985).

FIGURA 3.31 – CAPABILIDADE DO PROCESSO DE SECAGEM A ALTA TEMPERATURA NO SECADOR CONTÍNUO DE ESTEIRA.



LIE: Limite inferior especificado; LSE: Limite superior especificado; N: número de amostra; DesvPad: Desvio padrão; Pp: Capacidade do processo.

FONTE: O autor (2019).

Em se tratando de secagem de madeiras, com finalidade para a produção de lápis, a homogeneidade de todas as peças de madeira é de fundamental importância para a minimização de defeitos ocasionados nas etapas seguintes à secagem (usinagem, colagem, acabamento e utilização do produto pelo consumidor final). A ausência da etapa de uniformização aplicada após o final da secagem, no método de secagem em alta temperatura no secador contínuo, se faz necessário uma etapa adicional após a secagem da madeira, sendo denominada de equalização por um período prolongado (60 dias) em um ambiente com monitoramento da temperatura e umidade relativa.

3.2 SECAGEM DA MADEIRA EM ALTA TEMPERATURA

Observa-se na Tabela 3.24, que a secagem a temperatura máxima de 90 °C o teor médio de umidade final ficou acima do especificado (8%), no entanto, na metodologia de secagem em secadores contínuos, o controle da umidade final da madeira é em função do tempo de exposição da madeira no ambiente de secagem, sendo o ajuste com a manipulação da velocidade da esteira.

Nota-se ainda, a homogeneidade do teor de umidade final das madeiras, sendo o maior desvio padrão obtido para a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (2,34), tendo valor máximo de umidade de 19,51%. Já as espécies *P. caribaea* var. *caribaea* e *P. oocarpa*, tiveram menores desvios padrões (1,30 e 1,22) e teor de umidade máximo de 15,82% e 15,76% respectivamente.

Já para à secagem a temperatura máxima de 135 °C, observa-se que o teor de umidade final médio, ficou dentro da especificação esperada, no entanto, ao avaliar a dispersão de umidade para esta temperatura de secagem, nota-se que a capacidade do equipamento reduz, tendo os resultados médios de umidade final, não sendo representativos para a avaliação da qualidade referente ao teor de umidade final.

TABELA 3.24 - TEOR DE UMIDADE FINAL, TAXA DE SECAGEM E TEMPO DE SECAGEM DAS MADEIRAS DE *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *hondurensis* E *P. oocarpa* SECAS EM ALTA TEMPERATURA.

Espécie	Temperatura (°C)	TUf (%)	TS (%U.hr ⁻¹)	Tempo (horas)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	90	11,82 a (1,30)	70,32 a (16,38)	2,00
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	90	12,09 a (2,34)	67,82 a (16,70)	2,00
<i>Pinus oocarpa</i>	90	11,47 b (1,22)	47,48 b (13,35)	2,00
Fator de significância		10,14*	97,41*	-
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	135	5,69 a (1,20)	73,47 a (16,25)	2,00
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	135	5,33 a (0,94)	70,54 a (16,61)	2,00
<i>Pinus oocarpa</i>	135	5,26 b (2,40)	50,61 b (13,50)	2,00
Fator de significância		5,88*	96,41*	-
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	165	6,02 b (1,44)	110,03 b (24,55)	1,33
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	165	4,91 a (5,22)	105,94 b (25,10)	1,33
<i>Pinus oocarpa</i>	165	6,14 b (2,91)	75,44 a (20,28)	1,33
Fator de significância		10,89*	97,74*	-

TUf: teor de umidade final; TS: taxa de secagem. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical, dentro de cada fator, não diferem entre si (Tukey, $p > 0,05$).

Para a espécie de *Pinus oocarpa*, foi obtido teor de umidade máximo na amostra de 41,65%. Como a maioria das amostras estiveram dentro da especificação esperada, o valor médio da umidade foi influenciado pelo resultado da população amostral, sendo necessário o gerenciamento e controle do teor de umidade final, pela metodologia de inspeção e amostragem por atributo. Na avaliação de resultados por atributo, é quantificado o número de amostras acima da especificação esperada, de uma determinada população pré-estabelecida. O número de amostras para aprovar ou reprovar, depende do nível de qualidade aceitável.

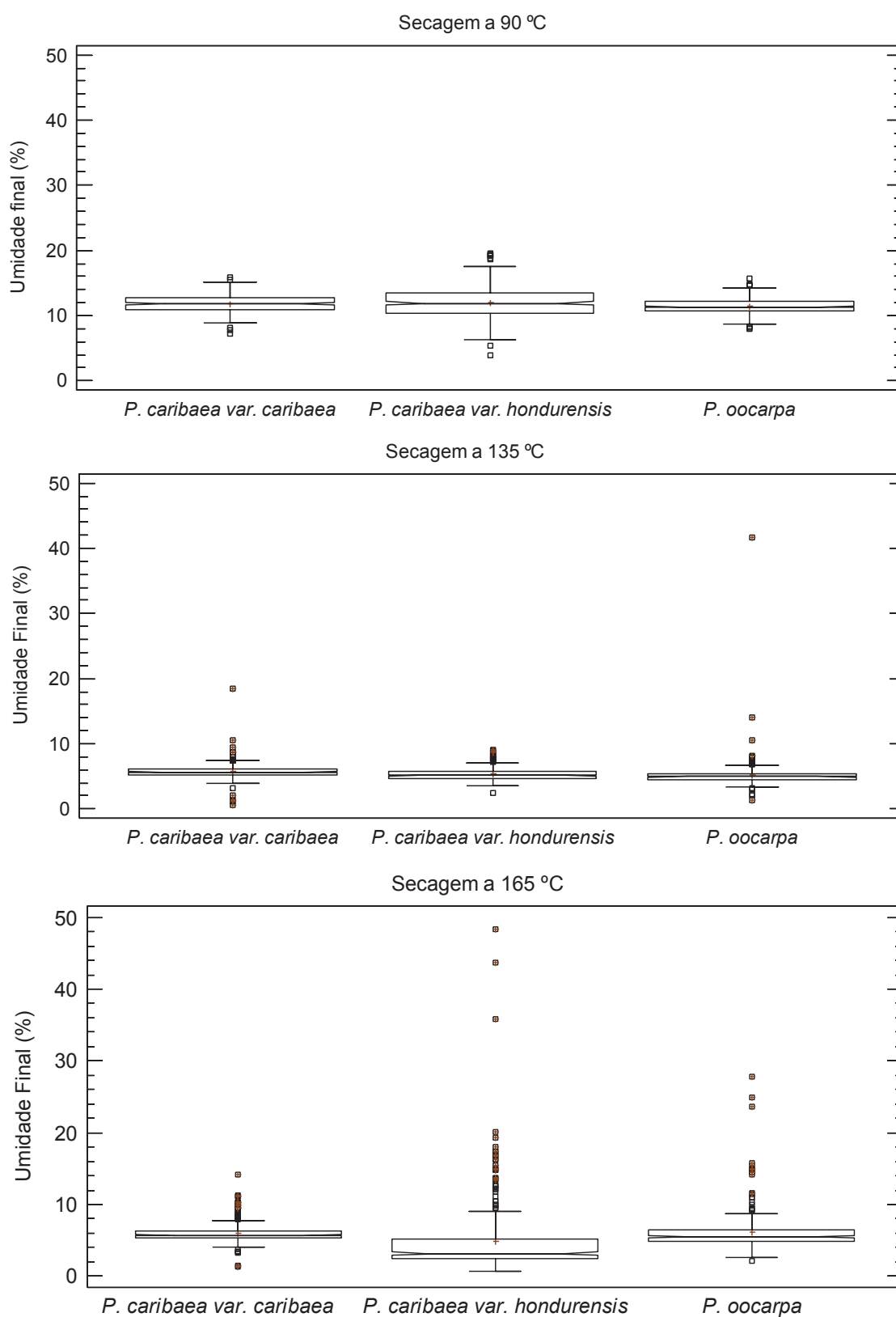
Para a secagem das madeiras à temperatura máxima de 165 °C, o teor de umidade final médio ficou dentro da especificação esperada, entretanto, ao

avaliar a dispersão de umidade para a espécie de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, observa-se que a secagem não foi homogênea, em função do elevado desvio padrão obtido (5,22). O que corresponde ao valor máximo de umidade final de 48,35% e, ao quantificar o número de amostras acima da especificação, 10,03% das amostras estavam com teor de umidade acima do especificado (8%).

A variação do teor de umidade obtida nesta pesquisa, está relacionada às características do equipamento utilizado para a secagem em alta temperatura. Em que o processo de secagem ocorre pela injeção de ar quente nas extremidades da madeira, que se desloca ao longo do equipamento a uma velocidade constante, sendo determinado a umidade final, apenas no final do processo de secagem. Outro fator relacionado à variação do teor de umidade são as aspirações das pontuações, principalmente nas regiões com parede celular de pequena espessura, baixa densidade e resistência mecânica, própria do lenho inicial, conforme relatos de Hansmann (2002), em função da secagem de forma rápida. A aspiração da pontuação ocorre quando ainda existe água livre no lume das células. A retirada dessa água causa uma pressão que é proporcional ao inverso do diâmetro capilar. Assim, a membrana da pontuação, composta pelo tórus e o margo, é pressionada no sentido de comprimi-la contra a auréola, causando um fechamento da pontuação. Na junção entre a membrana e a auréola, após a aspiração da pontuação, passam a atuar as forças de atração do tipo ligação por ponte de hidrogênio e forças de Van der Waals (SIAU, 1984; HANSMANN, 2002).

Observa-se (FIGURA 3.33) que a variação do teor de umidade entre as espécies estudadas possui a tendência em aumentar com o incremento da temperatura de secagem.

FIGURA 3.32 – VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE FINAL DAS MADEIRAS DE *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa* SECAS A ALTA TEMPERATURA NO SECADOR CONTÍNUO DE ESTEIRA



O autor (2019).

Para a taxa de secagem média (condição saturada até umidade final) das espécies estudadas secas a temperatura máxima de 90 °C apenas o *Pinus oocarpa* diferiu estatisticamente dos demais, sendo a taxa de secagem aproximadamente 30% menor que das demais espécies avaliadas. A madeira desta espécie teve a maior massa específica básica ($0,463 \text{ g.cm}^{-3}$) dentre as espécies de pinus tropicais estudadas. Kollmann e Cote Junior (1968), Siau (1984), Braz et al. (2015), Loiola et al. (2015; 2019), Liebl et al. (2017) enfatizam que a massa específica é de suma importância para o fenômeno de transferência de massa e durante o processo de secagem. Observa-se ainda, que a maior taxa de secagem foi obtida para a espécie com a menor massa específica básica (*Pinus caribaea* var. *caribaea*).

O coeficiente de difusão transversal da madeira é inversamente proporcional a espessura da parede celular (SIAU, 1984). Hart (1965), ainda complementa que em se tratando de taxa de secagem, a remoção da água de difusão, do interior para a superfície pode ser quase que inteiramente limitante durante os últimos estágios da secagem.

Já para a madeira seca à temperatura máxima de 135 °C, nota-se que a espécie *Pinus oocarpa* teve a menor velocidade de secagem, sendo diferente estatisticamente das demais espécies. Nota-se que o incremento em 33% na temperatura de secagem, proporciona um aumento médio da taxa em aproximadamente 5%. A principal justificativa em se utilizar esta metodologia de secagem é a rápida remoção de umidade da madeira (produtividade) e a redução dos custos de energia elétrica pelo setor (BORREGA; KÄRENLAMPI, 2010; BARANSKI, et al. 2013; BARANSKI, 2018). No entanto, a probabilidade de ocorrer aspição das pontoações, aumenta, juntamente com o incremento da temperatura máxima de secagem.

Para a condição de secagem mais crítica (temperatura máxima de 165°C), observa-se valores de taxa de secagem para as espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, semelhantes, não diferindo estatisticamente entre si. Percebe-se que o incremento de 18% na temperatura de secagem, com relação à temperatura de 135 °C proporcionou um aumento na taxa de secagem média de 33,19%. Entretanto, ao comparar as velocidades de fluxo de fluido para as madeiras secas a 90 e 165 °C, o aumento da

temperatura na ordem de 45%, proporcionou um aumento na taxa de secagem de 36,16%.

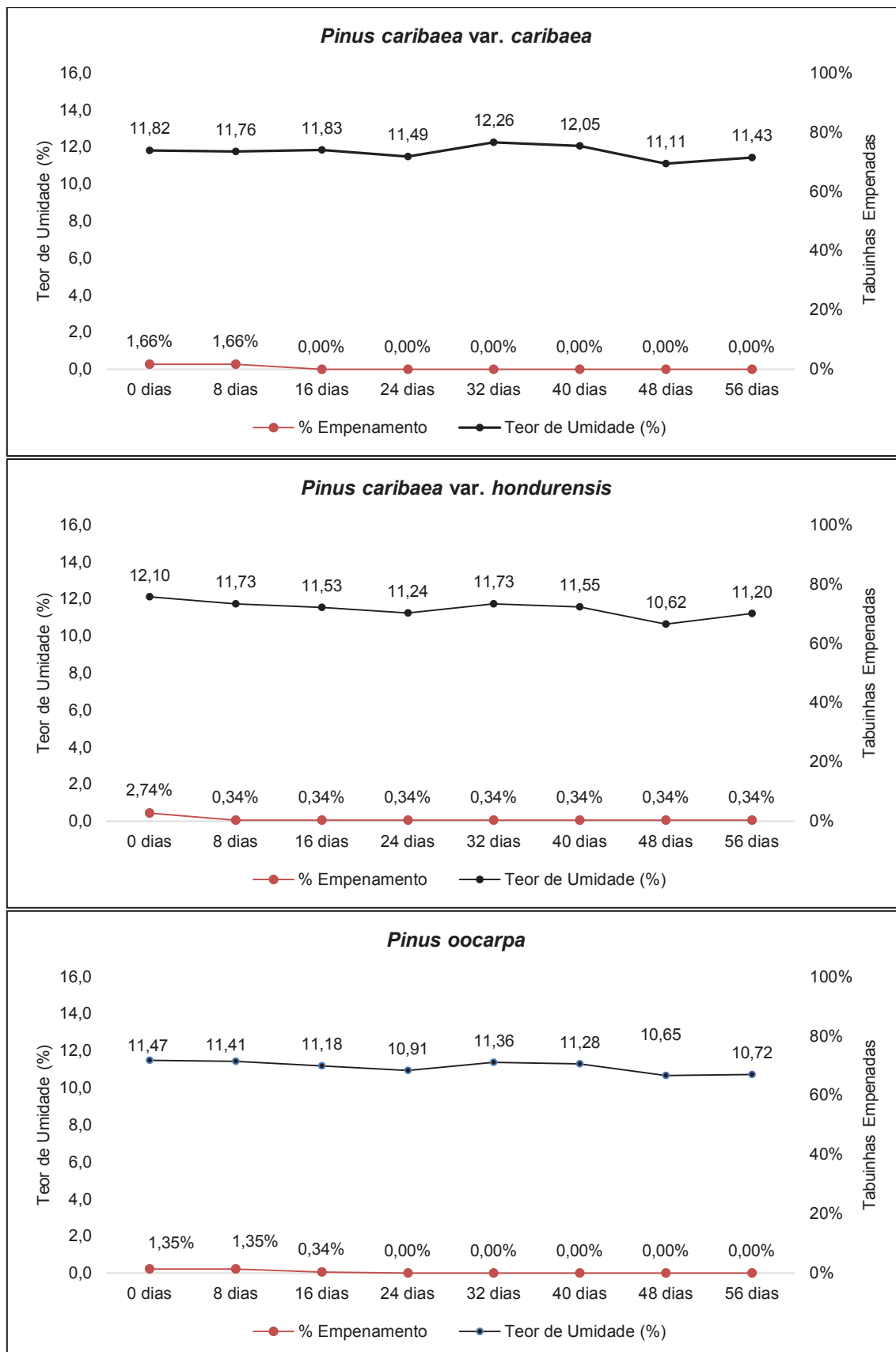
3.2.1 Avaliação do empenamento após a secagem a alta temperatura no secador contínuo de esteira

Na Figura 3.34 constam os empenamentos das madeiras secas a temperatura de 90 °C no secador contínuo de esteiras. Observa-se que o método de secagem no secador contínuo as madeiras estudadas de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*, tiveram incidência de empenamento com flecha superior a 1,5 mm semelhantes entre si.

Ao avaliar a influência do período de estabilização na minimização dos índices de empenamentos, nota-se que as espécies estudadas nas primeiras semanas de estabilização, tiveram reduções significativas na quantidade de amostras empenadas com flecha superior a 1,5 mm. Para a madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, a partir da 2ª semana de estabilização (16 dias) não se observa mais empenamentos nas amostras com flecha superior a 1,5 mm.

Já na madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* após a 1ª semana de estabilização (8 dias) foi evidenciado apenas uma amostra com empenamento superior a 1,5 mm de flecha. Entretanto, os 60 dias de estabilização não proporcionou a redução da flecha, em função da amostra apresentar lenho de compressão. Para a madeira de *Pinus oocarpa*, observa-se que 1,35% das amostras tinham empenamentos com flecha superior a 1,5 mm e após a 3ª semana (24 dias) não há mais índice de empenamentos na madeira.

FIGURA 3.33 - EMPENAMENTOS NAS MADEIRAS DE *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* SECAS EM SECADOR CONTÍNUO A TEMPERATURA DE 90 °C.

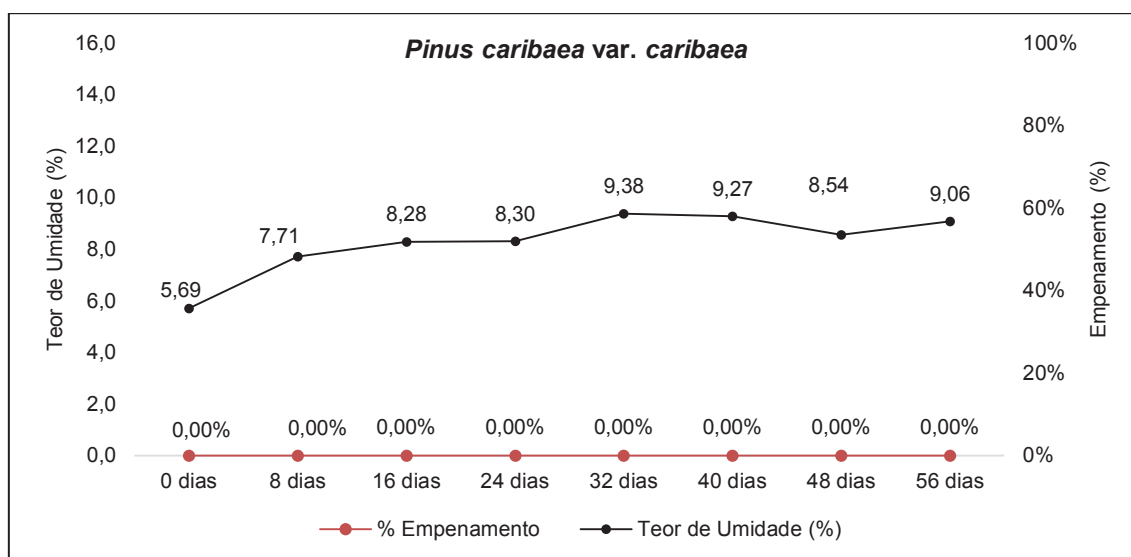


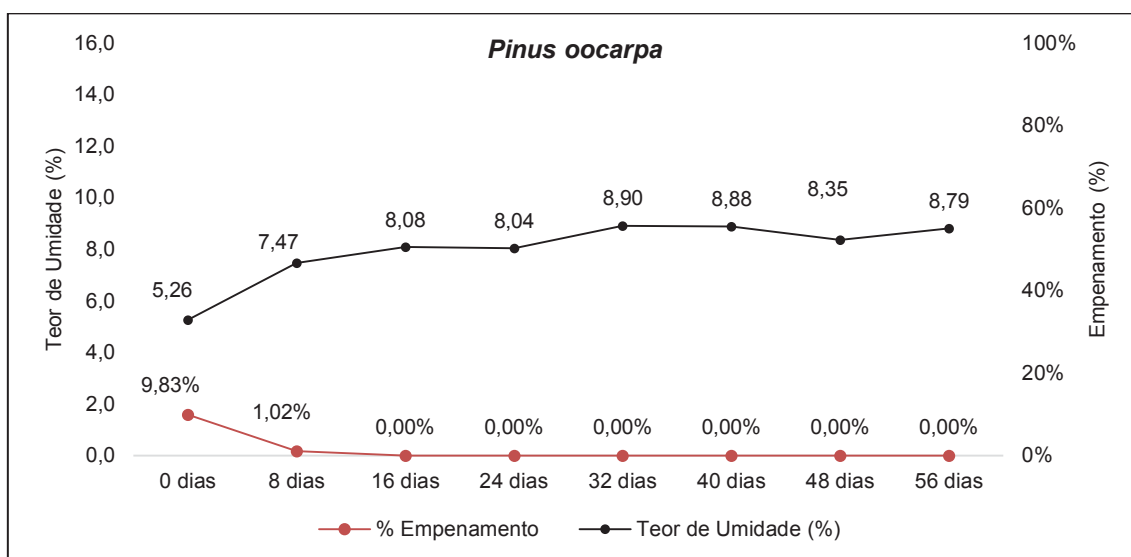
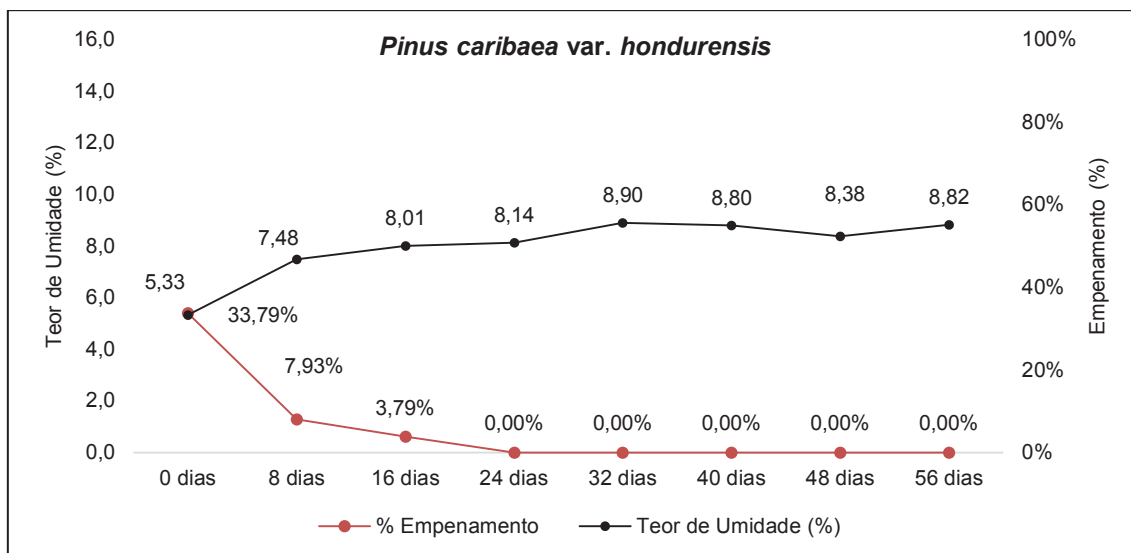
FONTE: O autor (2019).

Para a secagem da madeira à temperatura máxima de 135 °C, observa-se que para a espécie *P. caribaea* var. *caribaea* não foi obtido empenamento superior à flecha de 1,5 mm. Entretanto, nota-se a adsorção de moléculas de água pelas microfibrilas de celulose estabilizando a partir da 4ª semana (32 dias) em ambiente climatizado.

Já a madeira de *P. caribaea* var. *hondurensis* teve 33,79% das amostras apresentando empenamento com flecha superior a 1,5 mm, porém após uma semana de estabilização (8 dias) houve redução significativa das amostras apresentando empenamento superior a 1,5 mm de flecha e após a 4ª semana (32 dias) nenhuma amostra classificada como empenada. Resultados semelhantes foram obtidos para a espécie de *Pinus oocarpa*. Como na secagem em secador contínuo de madeiras não há a etapa de uniformização e condicionamento, ao final do processo a madeira seca possui elevadas tensões de secagem, o que ocasiona os elevados índices de empenamentos ao final do processo. Portanto, há necessidade deste período de estabilização da madeira, para posteriormente ser usinado para a fabricação do lápis (FIGURA 3.35).

FIGURA 3.34 - EMPENAMENTOS NAS MADEIRAS DE *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* SECAS EM SECADOR CONTÍNUO A TEMPERATURA DE 135 °C.



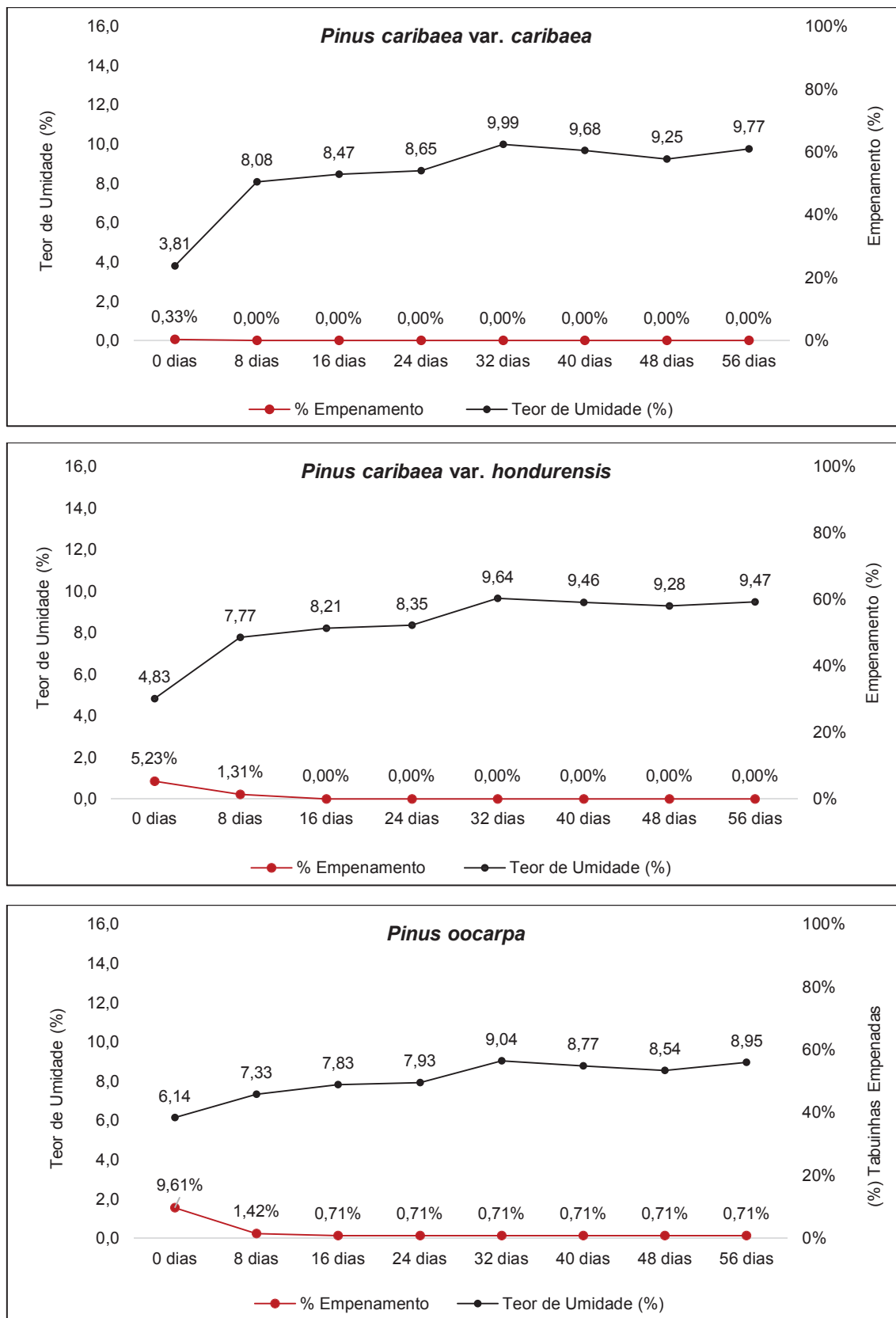


FONTE: O autor (2019).

Observa-se que para a secagem à temperatura máxima de 165 °C, foi obtido para as espécies estudadas, menor incidência de empenamento com flecha superior a 1,5 mm, ao comparar com os resultados obtidos para a secagem com temperatura máxima de 135 °C (FIGURA 3.36).

No entanto, para esta configuração de secagem as madeiras tiveram as menores umidades médias ao final do processo de secagem. Em virtude dos elevados desvios padrão apresentados é necessário o acondicionamento da madeira em local climatizado para a homogeneização do teor de umidade da carga seca.

FIGURA 3.35 - EMPENAMENTOS NAS MADEIRAS DE *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* SECAS EM SECADOR CONTÍNUO A TEMPERATURA DE 165 °C



FONTE: O autor (2019).

4. CONCLUSÕES

- A metodologia de secagem a alta temperatura por secador contínuo de esteira é um processo que necessita estar sob constante controle, por meio da ferramenta controle estatístico do processo – CEP;
- Existe variação para a umidade final da madeira nas diferentes posições do secador contínuo (trocaador de calor e ventilador) em ambas as malhas de secagem;
- Independente da temperatura de secagem utilizada (90°; 135° e 165°), foi evidenciado empenamentos com flecha superior a 1,5 mm;
- Para este método de secagem se faz necessário a estabilização da madeira em ambiente controlado por no mínimo 45 dias.

REFERÊNCIAS

AGUILERA, A.; MUÑOZ, H. Rugosidad superficial y potencia de corte em el cepillado de acacia melanoxylon y sequoia sempervirens. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 13, n. 1, p.19-28, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14806**. Madeira serrada de eucalipto - Requisitos. Rio de Janeiro. 2002. 11p.

BARANSKI, J. Moisture content during and after high and normal temperature drying processes of wood. **Drying Technology**, v. 36, n. 6, 2017.

BARANSKI, J.; CHUCHALA, D.; DZURENDA, L.; MUZINSKI, T.; ORLOWSKI, K. Determination of moisture content profiles of spruce wood after high temperature process and air drying. **Forestry and Wood Technology**, v. 82, p. 49-56, 2013.

BORREGA, M., KÄRENLAMPI, P. P. Hygroscopicity of heat-treated Norway spruce (*Picea abies*) wood. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 66, n. 1, p. 63 – 69, 2010.

BRAZ, R. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; ROSADO, A. M.; VIDAURRE, G. B.; PAES, J. B.; TOMAZELLO FILHO, M.; LOIOLA, P. L. Caracterização anatômica, física e química da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em áreas sujeitas à ação de ventos. **Ciência da Madeira**, v. 5, p. 127-137, 2014.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 461**. Determinación del peso específico aparente. Buenos Aires, 1972. 8p.

FRÜHWALD, E. Effect of high-temperature drying on properties of Norway spruce and Larch. **Holz Roh und Werkstoff**, v. 65, n. 6, p. 411– 418, 2007.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira**. BAURU: Document Center Xerox, 2000. v. 1. 242p.

HANSMANN, C. Permeability of wood – a review. **Drevarsky Vyskum**, v.47, n.4, p. 1-16, 2002.

HART, C. A. **The drying of wood**. Raleigh: North Caroline Agricultural Extension Service, 1965. 24 p. (Extension Circular, 471).

JANKOWSKY, I. P.; HENRIQUEZ, E. Z. Gradientes de umidade e desenvolvimento de tensões na secagem artificial da madeira de *Pinus caribaea* var *hondurensis*. **IPEF**, v. 24, n.24, p. 27-32, 1983.

JUIZO, C. G. F.; LOIOLA, P. L.; ZEN, L. R.; CARVALHO, D. E.; BILA, N. F.; EGAS, A. F.; ROCHA, M. P.; KLITZKE, R. J. Variação radial das propriedades físicas da madeira de *Pinus patula* plantados em Moçambique. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, p. 285, 2015.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Orgs.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007, v. 1, p. 271-366.

KOLLMANN, F. E. P.; CÔTE JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**: solid wood. Berlin: Springer-Verlag, v.1. 1968. 592p.

LIEBL, O. A.; LOIOLA, P. L.; ZEN, L. R.; KLITZKE, R. J.; ROCHA, M. P. Influência dos parâmetros dimensionais da pilha na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. submetida à secagem ao ar. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 3-10, 2017.

LOIOLA, P. L. **Secagem da madeira de teca (*Tectona grandis* L. f) sob diferentes condições**. 2015. 224f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2015.

LOIOLA, P. L.; JUIZO, C. G. F.; MARCHESAN, R.; KLITZKE, R. J.; ROCHA, M. P. Drying of wood from *Mimosa scabrella*, *Eucalyptus dunnii* and *Tectona grandis* in solar kiln, in south Brazil. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 9, p. 445-453, 2015.

LOIOLA, P. L.; MARCHESAN, R.; FRANCA, M. C.; JUIZO, C. G.; ROCHA, M. P.; KLITZKE, R. J. Yield of a portable sawmill and wood drying of *Hovenia dulcis* in conventional kiln. **Floresta**, v. 49, p. 79-88, 2019.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**: principles and practice. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

MARTINS, M. F.; OLIVEIRA, L. S.; COELHO, B. S.; PEREIRA, M. L. Taxa de secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. de diferentes espessuras. 18., 2009. Pelotas. In... Pelotas: Congresso de iniciação científica. 2009.

MILOTA, M. R. Warp and shrinkage of hem-fir stud lumber dried at conventional and high temperatures. **Forest Products Journal**, v. 50, n.11/12, p. 79-84, 2000.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 513p.

OBATAYA, E.; SHIBUTANI, S.; HANATA, K.; DOI, S. Effects of high temperature kiln drying on the practical performance of Japanese cedar wood (*Cryptomeria japonica*). II: Changes in mechanical properties due to heating. **Journal of Wood Science**, v.52, p.111 - 114, 2006.

PONCSAK, S.; KOCAEFE, D.; BOUAZARA, M.; PICHETTE, A. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). **Wood Science Technology**, v.40, p. 647-663, 2006.

SEHLSTEDT-PERSSON, M. Wood drying process: impact on Scots pine lumber durability. **Journal of Wood Science**, v. 56, p. 25 – 32, 2010.

SEVERO, E. T. D. **Efeito da temperatura e da velocidade do ar na secagem de madeira serrada de *Pinus Elliottii***. 1989. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

SIAU, J. F. **Transport process in wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 245 p.

SIK, H. S.; CHOO, K. T.; SARANI, Z.; SAHRIM, A.; HOW, S. S.; MOHAMAD OMAR, M. K. Influence of drying temperature on the physical and mechanical properties of rubberwood. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 21, n. 3, p.181–189, 2009.

SIK, H. S.; CHOO, K. T.; SARANI, Z.; SAHRIM, A.; HOW, S. S.; CHIA, C. H.; YUSOFF, M. Dimensional stability of high temperature-dried rubberwood solid lumber at two equilibrium moisture content conditions. **Drying Technology**, v. 28, p. 1083–1090, 2010.

TOMASELLI, I. **Effect of high temperature drying on properties of *Pinus radiata***. 1977. 264f. Tese (Doutorado em Wood Science) - University of Melbourne, Melbourne. 1977.

VILKOVSKÁ, T.; KLEMENT, I.; KONOPKA, A.; BARANSKI, J. High temperature drying of beech with content of tension wood. **Chip and Chipless Woodworking Processes**, v. 10, n. 1, p. 333–339, 2016.

REFERÊNCIAS GERAIS

AGUILERA, A.; MUÑOZ, H. Rugosidad superficial y potencia de corte em el cepillado de acacia melanoxylon y sequoia sempervirens. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 13, n. 1, p.19-28, 2011.

ALBINO, V. C. S.; SÁ, V. A.; BUFALINO, L.; MENDES, L. M.; ALMEIDA, N. A. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis compensados de *Toona ciliata* M. Roem. var. australis. **Cerne**, v. 17, p. 103-108, 2010.

ALMEIDA, B. C. **Contribuição para melhoria do processo de secagem convencional de madeiras serradas na região norte do Estado do Mato Grosso**. 2011. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

ALMEIDA, G.; GAGNÉ, S.; HERNÁNDEZ, R. E. A NMR study of water distribution in hardwoods at several equilibrium moisture contents. **Wood Science and Technology**, v. 41, n. 4, 2007.

ALMEIDA, V. C. **Extração de taninos da casca de *Pinus caribaea* var. *caribaea* através da utilização de diferentes solventes**. 29 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

AMARAL, A.C.; FERREIRA, M.; COUTO, H.T.Z. Métodos de avaliação da densidade básica da madeira de populações de pinheiros tropicais. **IPEF**, n.15, p.47-67, 1977.

AMORIM, P.G. R.; GONÇALEZ, J. C.; GONÇALVES, R.; TELES, R. F.; SOUZA, F. Ultrasound waves for assessing the technological properties of *Pinus caribaea* var *hondurensis* and *Eucalyptus grandis* wood. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 15, p. 2-10, 2013.

ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I. P.; DUCATTI, M. A. Gupamento de madeiras para secagem convencional. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 89-99, 2001.

ARONI, A.S.; REZENDE, M.A. Avaliação dos índices de produtividade do híbrido do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanii*, no Estado de São Paulo. **Energia Agrícola**, v. 22, n.1, p. 17- 32, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo setorial 2016**: ano base 2015. Curitiba, 2016. 143 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14806**: Madeira serrada de eucalipto - Requisitos. Rio de Janeiro. 2002, 11p.

BANKS, C.H. Some observations on the quality of the timber of South African grown *Pinus caribaea* var. *caribaea* and var. *hondurensis*. **South African Forestry Journal**, n. 102, p. 1-7, 1977.

BARANSKI, J.; CHUCHALA, D.; DZURENDA, L.; MUZINSKI, T.; ORLOWSKI, K. Determination of moisture content profiles of spruce wood after high temperature process and air drying. **Forestry and Wood Technology**, v. 82, p. 49-56, 2013.

BARANSKI, J. Moisture content during and after high and normal-temperature drying processes of wood. **Drying Technology**, v. 36, p. 751–761, 2018.

BARNES, R.D.; WOODEND, J.J.; SCHWEPPENHAUSER, M.A.; MULLIN, L.J. Variation in diameter growth and wood density in six-years-old provenance trials of *Pinus caribaea* Morelet on five sites in Rhodesia. **Silvae Genetica**, v. 28, n.5-6, p.163-167, 1977.

BELTRAME, R.; GATTO, D. A.; MODES, K.; STANGERLIN, D. M.; TREVISAN, R.; HASELEIN, C. Resistência ao impacto da madeira de açoita-cavalo em diferentes condições de umidade. **Cerne**, v. 16, p. 499-504, 2010.

BORREGA, M., KÄRENLAMPI, P. P. Hygroscopicity of heat-treated Norway spruce (*Picea abies*) wood. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 66, n. 1, p. 63 – 69, 2010.

BRAZ, R. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C.; RODRIGUES, B. P. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Toona ciliata* em diferentes idades. **Floresta**, v. 43, p. 663-670, 2013.

BRAZ, R. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; ROSADO, A. M.; VIDAURRE, G. B.; PAES, J. B.; TOMAZELLO FILHO, M.; LOIOLA, P. L. Caracterização anatômica, física e química da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em áreas sujeitas à ação de ventos. **Ciência da Madeira**, v. 5, p. 127-137, 2014.

BRITO, J.O.; NUCCI, O. Estudo tecnológico da madeira de *Pinus* spp para a produção de carvão vegetal e briquetagem. **IPEF**, n. 26, p. 25-30, 1984.

CAI, L.; OLIVEIRA, L. C. Impact of high-temperature schedules on drying of spruce and pine. **Drying Technology**, v. 26, p. 1160–1164, 2008.

CALVERT, W. W. High-temperature kiln-drying of lumber - A summary of Canadian progress. **Forest Product Journal**, v.8, n.7, p. 200-204, 1958.

CARVALHO, A. **Madeiras portuguesas**. Viseu: Departamento de Engenharia de Madeiras - Escola Superior de Tecnologia de Viseu, 1996. v.1.

CAVALHEIRO, R. S.; ALMEIDA, D. H.; ALMEIDA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Density as estimator of shrinkage for some brazilian wood species. **International Journal of Materials Engineering**, v. 6, p. 107-112, 2016.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 12f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CHUDNOFF, M. Tropical timbers of the world. **Agriculture Handbook**, Washington: USDA. 1984. 466 p.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 460**. Método de determinación de la humedad. 1972. Buenos Aires, 12p.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 461**. Determinación del peso específico aparente. Buenos Aires, 1972. 8p.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 462**: Método de determinación de la contracción. Buenos Aires, 1972. 8p.

CORREA, R. S. **Efeito dos atributos do solo na produtividade e qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira**: retratibilidade. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 33p.

ERICKSON, R. Mechano-sorptive behavior of hardwood lumber: the comparison of steam and dehumidification kiln. In: IUFRO INTERNATIONAL CONFERENCE ON WOOD DRYING, 3, 1992, Viena. **Preceding**... Viena: IUFRO, 1992. p. 103-111.

ESPINOSA, J. A. Within-tree density gradients in *Gmelina arborea* in Venezuela. **New Forests**, v. 28, n. 2/3, p. 309-317, 2004.

FALAVINHA, A. F.; LOGSDON, N. B.; FINGER, Z. Estudo da estabilidade dimensional de *Pinus caribaea* var. *caribaea* Haine, de um plantio homogêneo localizado em diamantino-MT. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 24., 2016, Cuiabá. **Resumos**... Cuiabá: UFMT, 2016, p. 9.

FERREIRA, A. T. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. por densitometria de raios x. **Scientia Florestalis**. v.37, n.83, p. 287-298, 2009.

FRANCIS, J.K. ***Pinus caribaea* Morelet. caribbean pine**. New Orleans: Departament of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1992. 10 p.

FREITAS, M. L., M.; ZANATTO, A. C. S.; MORAIS, E.; LEMOS, S. V. FERNANDES, A. C.; SEBBENN, A. M.; Teste de procedência de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 32 anos de idade em Bebedouro-SP. **Revista Instituto Florestal**, v.17. n.1 p.17-23, 2005.

FRÜHWALD, E. Effect of high-temperature drying on properties of Norway spruce and Larch. **Holz Roh und Werkstoff**, v. 65, n. 6, p. 411– 418, 2007.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. Moisture relations and physical properties of wood. In: **Wood handbook**: wood as an engineering material. 100 ed. Madson: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, Cap. 4., p. 1-20, 2010. (General Technical Report, FPL-GTR, 190).

GOLFARI, L. **Coníferas aptas para o reflorestamento nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**, Brasília: IBDF, 1971, 71p. (Boletim Técnico, 1).

GOMES, D. F. F.; SILVA, J. R. M.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F. Avaliação da estabilidade dimensional da madeira acetilada de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Scientia Forestalis**, n. 70, p.125 - 130, 2006.

GONÇALEZ, J.C.; SANTOS, N.; SILVA, F. G.; SOUZA, R. S.; PAULA, M. H. Growth ring width of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and its relationship with wood properties. **Scientia Forestalis**, v. 46, p. 309-317, 2018.

GONÇALEZ, J.C.; VIEIRA, F.S.; CAMARGOS, J.A.A.; ZERBINI, N.J. Influência do sítio nas propriedades da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 251-255, 2009.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; DELLA LUCIA, R. M.; NAPPO, M. E.; SARTÓRIO, R. C. Densidade e variação dimensional de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.33, n.2, p.277-288, 2009.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira**. Bauru: Document Center Xerox, 2000. 242p.

HANN, R. A. Drying yellow-poplar at temperatures above 100°C. **Forest Products Journal**, v. 14, p. 215-220, 1964.

HANSMANN, C. Permeability of wood – a review. **Drevarsky Vyskum**, v.47, n.4, p. 1-16, 2002.

HART, C. A. **The drying of wood**. Raleigh: North Caroline Agricultural Extension Service, 1965. 24 p. (Extension circular, 471).

HERAS, J.; BONILLA, M.; MARTÍNEZ, L. W. Germination after heats treatments of *Pinus tropicalis* Morelet and *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* seeds of west Cuban forest. **Annales Forest Science**, n. 63, p. 469-475, 2006.

HILDEBRAND, R. **Kiln drying of sawn timber**. Germany: Maschinenbau GmbH, 1970. 199p.

INDUSTRIAL BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Anuários estatístico da IBÁ 2017**: Ano base 2016. Brasília, 2016. 80 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Banco de dados de madeiras brasileiras**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; LIMA, A. J. M.; FERREIRA, E. S.; BATISTA, D. C.; ROMÃO, S. A. A. Produção de painéis compensados de *Pinus* tropicais colados com resina fenol-formaldeído. **Floresta**, v. 39, n. 3, p. 669-673, 2009.

IWAKIRI, S.; MANHIÇA, A.A.; PARCHEN, C.F.A.; CIT, E.J.; TRIANOSKI, R. Use of wood from *Pinus caariabae* var. *caribaea* and *Pinus caribaea* var. *bahamensis* for production of particleboard panels. **Cerne**, v. 16, n. 2, p. 193-198, 2010.

IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M; PINTO, J.A.; VIANA, L.C.; SOUZA, M.M.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V.C. Produção de painéis laminados unidirecionais LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 557 - 563, 2010.

JANKOWSKY, I. P.; HENRIQUEZ, E. Z. Gradientes de umidade e desenvolvimento de tensões na secagem artificial da madeira de *Pinus caribaea* var *hondurensis*. **IPEF**, v. 24, n.24, p. 27-32, 1983.

JANKOWSKY, I. P.; SANTOS, G. R. V.; ANDRADE, A. Secagem da madeira serrada de eucalipto. **IPEF**, v. 199, p. 1-14, 2003.

JUIZO, C. G. F.; LOIOLA, P. L.; ZEN, L. R.; CARVALHO, D. E.; BILA, N. F.; EGAS, A. F.; ROCHA, M. P.; KLITZKE, R. J. Variação radial das propriedades físicas da madeira de *Pinus patula* plantados em Moçambique. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, p. 285, 2015.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOSKY, R.; FERREIRA, M.; NICOLIELO, N. Variação Genética entre Procedências de *Pinus oocarpa* Shiede na região de Agudos – SP. **IPEF**, p.77-120,1977.

KAYGIN, B.; KAPLAN, D.; AYDEMIR, D. *Paulownia* tree as an alternative raw material for pencil manufacturing. **BioResources**, v.10, n.2, p. 3426 –3433, 2015.

KEEY, R. B; LANGRISH, T. A. G.; WALKER, J. C. F. **Kiln-drying of lumber**. Berlin: Springer Verlag, 2000. 326p.

KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Orgs.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007, v. 1, p. 271-366.

KLITZKE, R. J. **Uso do inversor de frequência na secagem de madeiras**. 2002. 239f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

KLITZKE, R. J.; BATISTA, D. C. Ensaio de taxa de secagem e escore de defeitos para a predição da qualidade de secagem convencional da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**. v. 38, n. 85, p. 97-105, 2010.

KLOCK, U. Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiède e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr e Golf. **Floresta**, v. 20, n.1- 2, p. 89-90, 1990.

KOLLMANN, F. E. P.; CÔTE JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**: solid wood. Berlin: Springer-Verlag, v.1. 1968. 592p.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**. Eschborn: GTZ, 1990. 343 p.

LATORRACA, J. V.; ALBUQUERQUE, C. E. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v.7, n. 1, p. 279-291, 2000.

LEPAGE, E. S. et. al. Métodos de tratamento. In: LAPAGE, E.S. et al. (Coord.). **Manual de preservação de madeira**. São Paulo: IPT, v.2, p. 343-419, 1986.

LIEBL, O. A.; LOIOLA, P. L.; ZEN, L. R.; KLITZKE, R. J.; ROCHA, M. P. Influência dos parâmetros dimensionais da pilha na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. submetida à secagem ao ar. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 3-10, 2017.

LIMA, A. F.; JARÁ, E. R. P.; ALFONSO, V. A. Madeira como matéria-prima para fabricação de pasta celulósica. In: PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel**: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. p.129-167.

LOGSDON, N. B.; CALIL JUNIOR, C. Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 18, p. 77-108, 2002.

LOGSDON, N. B.; FINGER, Z.; BORGES, C. G. A. Caracterização físico mecânica da madeira de peroba-mica, *Aspidosperma populifolium* A. DC. (Apocynaceae). **Floresta**, v. 38, n. 1, 2008.

LOIOLA, P. L. **Secagem da madeira de teca (*Tectona grandis* L. f) sob diferentes condições**. 2015. 224f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2015.

LOIOLA, P. L.; JUIZO, C. G. F.; MARCHESAN, R.; KLITZKE, R. J.; ROCHA, M. P. Drying of wood from *Mimosa scabrella*, *Eucalyptus dunnii* and *Tectona grandis* in solar kiln, in south Brazil. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 9, p. 445-453, 2015.

LOIOLA, P. L.; MARCHESAN, R.; FRANCA, M. C.; JUIZO, C. G.; ROCHA, M. P.; KLITZKE, R. J. Yield of a portable sawmill and wood drying of *Hovenia dulcis* in conventional kiln. **Floresta**, v. 49, p. 79-88, 2019.

LOPES, C. S. D.; NOLASCO, A. M.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S.; PANSINI, A. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 315 - 322, 2011.

LOPES, D. J. V.; PAES, J. B.; JANKOWSKY, I. P.; SEGUNDINHO, P. G. A.; VIDAURRE, G. B. Influências do diâmetro e umidade da madeira na qualidade do tratamento preservativo. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. e20160207, 2017.

LUBE, V. M.; MAZIERO, R.; FRANCA, L. C. A.; VIDAURRE, G. B.; PAULA, E. N. S. O. Madeira juvenil x madeira adulta na produção de celulose. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 22, p. 74-81, 2013.

MACKAY, J. F. G.; OLIVEIRA, L. C. **Kiln operator's handbook for Western Canada**. Vancouver: Forintek Canada Corp., 1989. 61p.

MADSEN, B. **Structural behaviour of timber**. North Vancouver: Timber Engineering Ltda, v.1. 1992. 437p.

MARQUES, S. S.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; ALVES, EDENISE, S.; SILVA, A. G.; FIEDLER, N. C. Estudo comparativo da massa específica aparente e retratibilidade da madeira de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* LAM.) nativa e de reflorestamento. **Árvore**, v. 36, p. 373-380, 2012.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**: principles and practice. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

MARTINS, V.A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: IBDF, 1988. 56p.

MARTINS, M. F.; OLIVEIRA, L. S.; COELHO, B. S.; PEREIRA, M. L. Taxa de secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. de diferentes espessuras. 18., 2009. Pelotas. In... Pelotas: Congresso de iniciação científica. 2009.

MASSERANN, C.; MARIAUX, A. Anisotropie de retrait et structure du bois. recherche de l'influence des caractères morphologiques transverses des fibres. **Bois et Forêts Dês Tropiques**, n. 209, p. 35 - 47, 1985.

MELLADO, E. C. E. R. **Modelo de transferência de calor e massa na secagem de madeira serrada de Pinus**. 2007. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

MELO, J. E.; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia Brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: Florestas e Meio Ambiente: conservação e produção, patrimônio social. 1990. p. 695-699.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT JR, S.; SALDANHA, L. K. *Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Ciência Florestal**, v. 12, n.2, p. 135-145, 2002.

MERCADET, A.; MARQUETTI, J. R.; ÁLVAREZ, A.; PÉREZ, M.; ECHEVARRÍA, P.; HIDALGO, E.; ORTIZ, O.; RODRÍGUEZ, E.; ROMEO, P.; ÁVILA, B.; PARADA, D.; YERO, L.; SOTOLON, P.; MARTÍNEZ E.; MARESMA, H.; GONZÁLEZ, A.; HECHAVARRÍA, O.; HERNÁNDEZ, A.; PAREDES, L. Introducción de especies y procedencias en Cuba: resultados de la investigación y proyecciones. 29., 2001. Roma. In... Roma: Recursos Genéticos Forestales Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2001. pp. 15-18.

MILOTA, M. R.; TSCHERNITZ, J. L. Correlation of loblolly pine drying rates at high temperature. **Wood and Fiber Science**, v. 22, n. 3, p. 298–313, 1990.

MILOTA, M. R. Warp and shrinkage of hem-fir stud lumber dried at conventional and high temperatures. **Forest Products Journal**, v. 50, n.11/12, p. 79-84, 2000.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 513p.

MORAES NETO, S. P.; MELO, J. T. **Parâmetros genéticos da densidade básica da madeira de *Pinus oocarpa***. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008, 19p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

MORAES, M. L. T.; MISSIO, R. F.; SILVA, A. M.; CAMBUIM, J.; SANTOS, L. A.; RESENDE, M. D. V. Efeito de desbaste seletivo nas estimativas de parâmetros genéticos em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, n. 74, p.55-65, 2007.

MORAES, M.L.T.; MISSIO, R.F.; SILVA, A.M.; CAMBUIM, J.; SANTOS, L.A.; RESENDE, M.D.V. Efeito do desbaste seletivo nas estimativas de parâmetros genéticos em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, n. 74, p. 55-65, 2007.

MORAIS, S. NASCIMENTO, E. F.; MELO, D. C. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, v.29, n.3, p.461 470, 2005.

MOURA, G. P. V.; PARCA, S. L. M.; SILVA, A. M. **Variação da densidade básica da madeira de espécies e procedências de *Pinus* centro-americanos em três locais na região dos cerrados**. Colombo: Embrapa Florestas, n. 22/23, p. 29 - 44, 1991. (Boletim de Pesquisa Florestal).

MOURA, V. P. G.; DVORAK, W. S. HODGE, G. R. Provenance and family variation of *Pinus oocarpa* grown in the Brazilian cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 109, p. 315-322, 1998.

MOURA, V. P. G.; DVORAK, W. S. Provenance and family variation of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from Guatemala and Honduras, grown in Brazil, Colombia and Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 225-234, 2001.

MOYA ROQUE, R. Wood of *Gmelina arborea* in Costa Rica. **New Forests**, Amsterdam, v.28, n.2/3, p.299- 307, 2004.

MOYA ROQUE, R.; ARAYA, L.; VILCHEZ, B. Variation in the pith parameter of *Gmelina arborea* trees from fast growth plantations in Costa Rica. **Annals of Forest Science**, v.65, n.6, p.612-621, 2008.

MOYA ROQUE, R.; TOMAZELLO FILHO, M. Variation in the wood anatomical structure of *Gmelina arborea* trees at different ecological conditions in Costa Rica. **Revista Biologia Tropical**, v.56, n.2, p.689- 704, 2008.

MOYA ROQUE, R.; TOMAZELLO FILHO, M. Wood density and fiber dimensions of *Gmelina arborea* in fast growth trees in Costa Rica: relation to the growth rate. **Sistemas y Recursos Forestales**, v.16, n.3, p.267 276, 2007.

MOYA ROQUE, R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C.T.S. Variações na estrutura da anatomia do lenho de árvores de *Gmelina arborea* Roxb. (Verbenaceae) de clima tropical seco e úmido na Costa Rica. **Scientia Forestalis**, n.75, p.65-75, 2007.

MOYA, R.; TOMAZELLO FILHO, M. Wood density variation and tree ring demarcation in *Gmelina arborea* trees using X-ray densitometry. **Cerne**, v. 15, p. 92–100. 2009.

OBATAYA, E.; SHIBUTANI, S.; HANATA, K.; DOI, S. Effects of high temperature kiln drying on the practical performance of Japanese cedar wood (*Cryptomeria japonica*). II: Changes in mechanical properties due to heating. **Journal Wood Science**, v.52, p.111–114, 2006.

OLIVEIRA, J. T. S. Propriedades físicas e mecânicas da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Orgs.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007, v. 1, p. 271-366.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p.115 - 127, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v.34, n.5, p. 929 - 936. 2010.

PAES, J. B.; LOIOLA, P. L.; EUFLOSINO, A. E. R.; SALVADOR, F. M.; VITORIA, J. B. Efeito de soluções salinas na estabilidade dimensional da madeira de kiri (*Paulownia tomentosa*). **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 21, p. 72-84, 2013.

PAES, J. B.; LOIOLA, P. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; BRAZ, R.L.; KLITZKE, R.J. Efeito de soluções salinas na estabilidade dimensional das madeiras de *Corymbia torelliana* e *Eucalyptus cloeziana*. **Scientia Forestalis**, v. 43, p. 271-281, 2015.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 4 ed. New York: MacGraw-Hill, 1980. 722 p.

PEREYRA, O.; SUIREZS, T. M.; PITSCH, C.; BAEZ, R. Estudio de las propiedades físico-mecánicas y comportamiento en procesos industriales de La madera de kiri, grevilea, paraíso y toona. **Floresta**, v. 36, n. 2, p. 213-223, 2006.

PIMENTEL, L.L. **Telhas onduladas à base de cimento portland e resíduos de *Pinus caribaea***. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

PINHEIRO, A. L.; LANI, J. L.; COUTO, L. **Cedro-Australiano**: cultivo e utilização (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (F. Muell) Bahadur. Viçosa: UFV, 2006. 42p.

PONCSAK, S.; KOCAEFE, D.; BOUAZARA, M.; PICHETTE, A. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). **Wood Science Technology**, v.40, p. 647-663, 2006.

PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de *Pinus* tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panels – EGP)**. 2010. 114f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PRATT, G. H. **Timber drying manual**. London: Department of the Environment/Building Research Establishment, 1974. 152p.

RESCH, H. High-frequency electric current for drying of wood-historical perspectives. **Wood Science and Technology**, v. 8, n. 2, p. 67-82, 2006.

REZENDE, M. A. Retratibilidade da madeira de *Pinus* var *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis* e suas relações com a umidade e densidade. **Scientia Forestalis**, v. 64, p. 120-127, 2003.

REZENDE, M.A.; SAGLIETTI, J.R.C.; GUERRINI, I.A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, n. 48-49, p. 133-141, 1995.

REZENDE, M.A.; SEVERO, E.T.D.; QUINTANA, I.R. Estudo das variações da massa específica em *Pinus oocarpa* através da técnica de atenuação de radiação gama. **Floresta**, v. 29, n.1, p. 67-84, 1999.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa: UFV, 2001.

SALAMON, M.; MCLNTYRE, S. Manipulation of air velocity permits drying time savings. **Canadian Forest Industries**, v, 89, n .9, p. 49-57, 1969.

SAMPAIO, P. T. B.; RESENDE, M. D V.; ARAUJO, A. J. Estimativa de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus oocarpa* Schiede. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 3,7 n.5, 2002.

SAMPAIO, P.T.B. **Variação genética entre procedências e progênies de *Pinus oocarpa* Schiede, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. & Golf. e *Pinus maximinoi* H. E. Moore e métodos de seleção para melhoramento genético**. 169f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SANSÍGOLO, C. A.; BARREIROS, R. M. Estudo comparativo das madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* para produção de celulose Kraft. In: CONGRESO IBEROAMERICANO EN CELULOSA Y PAPEL, 3., 2004, Cordoba. **Anais...** CIADICYP, 2004.

SANTINI, E. J.; TOMASELLI, I. **Colapso na madeira de algumas experiências brasileiras**. Curitiba: FUPEF, 1980. 21p. (Série Técnica, n.3).

SANTOS, C. M. T.; DEL MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R. Properties of thermo-mechanically treated wood from *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **BioResources**, v.7, p. 1850 – 1865, 2012.

SEHLSTEDT-PERSSON, M. Wood drying process: impact on Scots pine lumber durability. **Journal of Wood Science**, v. 56, p. 25 – 32, 2010.

SERPE, E. L.; WATZLAWICK, L. F. Avaliação de incremento diamétrico inicial em diferentes espécies de *Pinus* na região de Santa Maria do Oeste (PR). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.2, n.3, 2009.

SEVERO, E. T. D. **Efeito da temperatura e da velocidade do ar na secagem de madeira serrada de *Pinus Elliottii***. 1989. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

SHIMIZU, J. Y.; HIGA, A. R. Variação racial do *Pinus taeda* L. no sul do Brasil até o sexto ano de idade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 2, p.1-25, 1981.

SHIMIZU, J.Y.; SEBBENN, A.M. Espécies de *Pinus* na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J.Y. (Ed.). ***Pinus na silvicultura brasileira***. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 49 - 74.

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse, Syracuse University Press, 1971. 131p

SIAU, J. F. **Transport process in wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 245 p.

SIAU, J. F.; AVRAMIDIS, S. The surface emission coefficient of wood. **Wood and Fiber Science**, adison, v.28, n.2, p.178-185, 1996.

SIK, H. S.; CHOO, K. T.; SARANI, Z.; SAHRIM, A.; HOW, S. S.; MOHAMAD OMAR, M. K. Influence of drying temperature on the physical and mechanical properties of rubberwood. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 21, n. 3, p.181–189, 2009.

SIK, H. S.; CHOO, K. T.; SARANI, Z.; SAHRIM, A.; HOW, S. S.; CHIA, C. H.; YUSOFF, M. Dimensional stability of high temperature-dried rubberwood solid lumber at two equilibrium moisture content conditions. **Drying Technology**, v. 28, p. 1083–1090, 2010.

SILVA, J.M. **Análises genéticas em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* por caracteres quantitativos e marcadores moleculares.** 129f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita, Ilha Solteira, 2005.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazonica**, v. 43, p. 179-184, 2013.

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator's manual.** Madison: U.S. Department of Agriculture, 1991. 274 p.

SIMPSON, W. T. **Effect of air velocity on the drying rate of single eastern white pine boards.** Madson: USDA Forest Service Research Nore, 1997.

SKAAR, C. **Wood-water relations.** New York: Spring-Verlag. 1988. 283p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil Florestal – 2007.** 2008. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br>>. Acesso em: 29 ago. 2019.

STAMM, J. A. **Wood and cellulose science.** New York, The Ronald Press, 1964. 549p.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Biostatística: princípios y procedimientos.** México: McGraw-Hill, 1988. 622p.

SZÜCS, C. A.; TEREZO, R. F.; VALLE, Â.; MORAES. P. D. **Estruturas de madeira.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. 186p.

TOMASELLI, I. **Effect of high temperature drying on properties of *Pinus radiata*.** 1977. 264f. Tese (Doctor in Wood Science), University of Melbourne, Melbourne. 1977.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C. R.; MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; BELTRAME, R.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L. Variação radial da massa específica básica da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Floresta**, v. 38, n. 3, p.553-559, 2008.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Avaliação das propriedades mecânicas da madeira de espécies de *Pinus* tropicais. **Scientia Forestalis**, v. 42, p. 21-28, 2014.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Avaliação da estabilidade dimensional de espécies de *Pinus* tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 398-406, 2013.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de espécies de *Pinus* tropicais. **Floresta**, v. 43, p. 503-510, 2013.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Avaliação das propriedades mecânicas da madeira de espécies de *Pinus* tropicais. **Scientia Forestalis**, v. 42, p. 21-28, 2014.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S. Propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira de cedro australiano cultivado em Corupá, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, p. 435-441, 2014.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. New York: Chapman & Hall, 1991. 494p.

VICENTE, A.T.V.; MOURA, V.P.G.; FIORENTINI, E.A.; SOUZA, M.R. **Variação radial e axial da massa específica básica e das contrações de madeira de quatro procedências de *Pinus***. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. n. 28, 2005. 27 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 18, p.10-18, 2011.

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; NUTTO, L.; NISTAL, F. J. F.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C. Propriedades da madeira de reação. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 1-37, 2013.

VILKOVSKÁ, T.; KLEMENT, I.; KONOPKA, A.; BARANSKI, J. High temperature drying of beech with content of tension wood. **Chip and Chipless Woodworking Processes**, v. 10, n. 1, p. 333–339, 2016.

VITAL, B. R.; TRUGILHO, P. F. Variação dimensional e uso da madeira de *Eucalyptus*. **Informe Agropecuário**, v. 18, n. 186, p. 57-61. 1997.

WANG, H.; MALCOLM, D.C.; FLETCHER, A.M. *Pinus caribaea* in China: introduction, genetic resources and future prospects. **Forest Ecology and Management**, v.117, p.1-15, 1999.

WENGERT, E. M.; DENIG, J. Lumber drying: today and tomorrow. **Forest Products Journal**, v. 45, n. 5, p. 22 – 30, 1995.

ZHENG, Y.Q.; ENNOS, R.A. Genetic variability and structure of natural and domesticated populations of *Caribbean* pine (*Pinus caribaea* Morelet). **Theoretical and Applied Genetics**, n. 98, p.765-771, 1999.

ZOBEL, B. J. The changing quality of the world wood supply. **Wood Science and Technology**, n.18, n.1, p.1-17, 1984.

ZOBEL, B.J.; BUIJTENEN, J.P. **Wood variation**: Its causes and control. New York. Springer-Verlag, 1989. 357p.